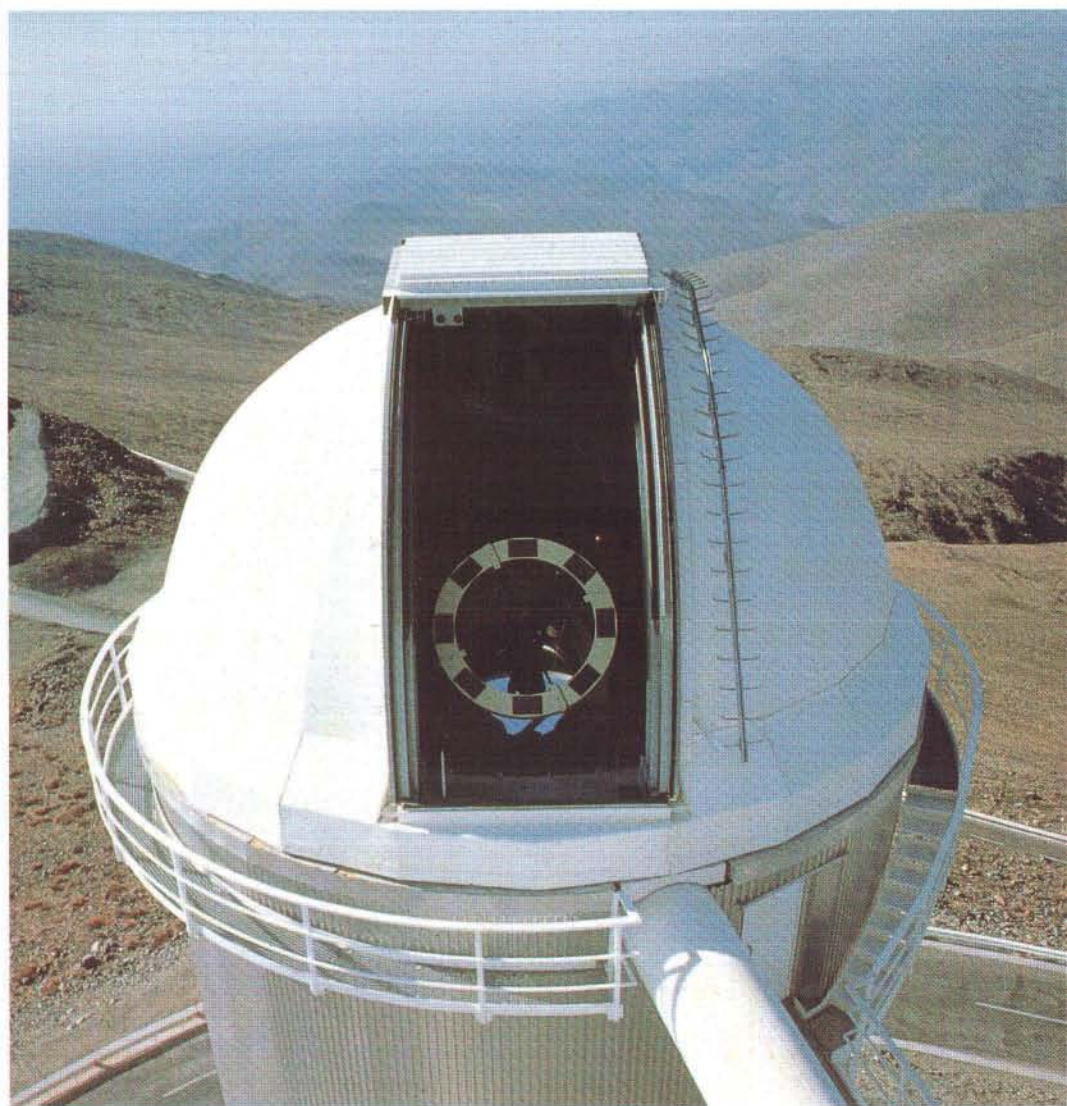


7

54^e jaargang

NATUUR '86 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



**BUITENAARDS LEVEN / HOUTEN VEENWEGEN / EIWITTURNOVER /
KLEURENFOTOGRAFIE / OPTISCHE TELESCOPEN /
VISSEN IN VERZUURD WATER**



ZUIVERINGSCHAP WEST-OVERIJSSSEL

Het Zuiveringschap West-Overijssel is belast met de zorg voor de kwaliteit van het oppervlaktewater in een gebied van \pm 260.000 ha in de provincie Overijssel (met uitzondering van Twente) en in de provincie Flevoland (het gebied van de Noordoostpolder).

De afdeling Zuiveringstechnologie van de Technologische Dienst houdt zich onder meer bezig met de technologische bedrijfsvoering van zuiveringswerken, technologische begeleiding van de slibverwerking en de slibafzet alsmede de controle van de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Bij de sectie Oppervlaktewater bestaat de vakature van

HYDROBIOLOGISCH MEDEWERK(ST)ER

(volledige werktijd)

Functie-inhoud.

- uitvoeren van oppervlaktewateronderzoek, waarbij de nadruk valt op de hydrobiologische aspecten (opzet bemonstering, determinatie en rapportage van het onderzoek)
- het zich op de hoogte stellen en op de hoogte blijven van ontwikkelingen in het vakgebied
- beheerstaak voor wat betreft de uitrusting van het hydrobiologisch laboratorium
- leiding geven aan een hydrobiologisch analist op M.B.O.-niveau

Functie-eisen.

- H.B.O.-opleiding met zoölogische, botanische of ecologische specialisatie, dan wel gelijkwaardige opleiding
- ervaring op het gebied van macrofauna-onderzoek en/of planktononderzoek is gewenst
- bekendheid met het oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer strekt tot aanbeveling
- rijbewijs B-E
- leeftijd vanaf 25 jaar

Aanstelling

De aanstelling zal geschieden als ambtenaar in tijdelijke dienst voor één jaar; bij gebreken geschiktheid zal de aanstelling na dit jaar worden gewijzigd in een aanstelling als ambtenaar in vaste dienst.

Salaris.

Afhankelijk van opleiding, ervaring en leeftijd zal het salaris minimaal f 2.643,- bruto per maand bedragen en maximaal f 3.601,- bruto per maand. In afwachting van de functiewaardering bij het schap betreft het een voorlopige inschaling

Rechtspositie.

De bij de overheid gebruikelijke rechtspositieregelingen zijn van toepassing, terwijl het zuiveringschap is aangesloten bij de Interprovinciale Ziektekostenregeling (I.Z.R.).

Informatie.

Informatie over de functie kan worden ingewonnen bij het hoofd van de afdeling Zuiveringstechnologie, de heer ir. M.W. IJssink of het waarnemend hoofd, de heer ir. C. Jol, tel. 038-218803.

Sollicitatie.

Schriftelijke sollicitaties kunnen, onder vermelding van vakaturnummer ZT 861 in de linkerbovenhoek van sollicitatiebrief en -enveloppe, binnen 10 dagen na het verschijnen van dit blad worden gericht aan de watergraaf van het Zuiveringschap West-Overijssel, Postbus 60, 8000 AB Zwolle.

NATUUR '86 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 8,45 of 160 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Ruim drie eeuwen geleden, in 1608, werd voor het eerst met een primitief soort verrekijker naar de sterren gekeken. Sindsdien heeft de techniek van de optische telescopen, telescopen die werken met zichtbaar licht, een grote vlucht genomen. Observatoria met grote optische telescopen zijn doorgaans te vinden op hooggelegen plaatsen met heldere luchten. Hier kijken we in de 3,6 m telescoop van de ESO in La Silla, Chili.

(Foto: European Southern Observatory, Garching, BRD).

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr. G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. W.G.M. Köhler, Drs. T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Olde Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P. Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M. v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir. T. Luyendijk, P. Mombaerts, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Dr. M. Sluysen, J.A.B. Verduijn, Prof. dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI) en PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR), met de steun van het Directoraat-generaal Telecommunicatie, Informatie-industrie en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

BEZIENSWAARDIG	IV
BOEKEN	VI
AUTEURS	VII
COLUMN	VII
HOOFDARTIKEL	491

ZIJN WIJ ALLEEN? 492

De speurtocht naar buitenaards leven

M. Hack

Hoewel op de andere planeten van ons zonnestelsel vrijwel zeker geen leven voorkomt, is daarmee nog niet gezegd dat er niet ergens in het heelal zonnestelsels bestaan, met een planeet waar omstandigheden heersen, die leven mogelijk maken. Astronomen zijn al jaren op zoek naar dergelijke planeten. Zij zoeken naar radiogolven, die wellicht van intelligente wezens afkomstig zijn, maar bijvoorbeeld ook naar sterren waaromheen planeten cirkelen en naar organische stoffen in het heelal. Licht er een speld in de hooiberg?



HOUTEN VEENWEGEN 508

Prehistorisch vernuft?

W.A. Casparie

De aanleg van de 'Valtherbrug', een 12 km lange houten veenweg door het Bourtangerveen, betekende een formidabele inspanning. Voor de 60 000 palen en planken moeten zo'n tienduizend bomen gekapt zijn. Daarnaast heeft het ook veel energie gekost om de weg door het drassige veen aan te leggen. Ongetwijfeld heeft de prehistorische mens een doel gehad met deze wegen, dat de inspanning rechtvaardigde. Konden zij hun wegen wel goed plannen? Menige weg lijkt immers in het niets te eindigen.



EIWITTURNOVER 520

Schakel tussen voeding en gezondheid

V.V.A.M. Schreurs en H.A. Boekholt

Eiwit is een noodzakelijk bestanddeel van onze voeding. Ons lichaam bestaat voor bijna 20 procent uit eiwitten. Een groot deel daarvan is structureel ingebouwd in weefsel, met name in spierweefsel. Daarnaast zijn er de enzymen, die omzettingen in het lichaam katalyseren. Bij al deze eiwitten is sprake van een voortdurende opbouw en afbraak, de eiwitturnover. Deze dient als een soort onderhoudsmechanisme van de lichaamseiwitten en speelt een rol in de aanpassing aan veranderende omstandigheden.



NATUUR '86 & TECHNIEK

juli/ 54^e jaargang/1986



KLEURENFOTOGRAFIE

532

Chemie op de korrel

H.C.A. van Beek, E.E. Brand en H.M. Brand

Al sedert de grijze oudheid zoekt de mens naar methoden om gebeurtenissen en personen vast te leggen. Dit komt tot uiting in de enorme hoeveelheid schilderijen, beelden e.d. uit het verleden. De ontdekking van de fotografie maakte het mogelijk informatie snel en eenvoudig vast te leggen, aanvankelijk alleen in zwartwit, later ook in kleur. Men staat er maar weinig bij stil dat achter de 'klik' een formidabel stuk chemie en fysica schuilgaat. De fotografische film bevat een ingewikkeld en uitgeknipt mengsel van chemicaliën.



OPTISCHE TELESCOPEN

548

350 Jaar de blik op oneindig

H. van de Stadt

Tussen de eerste telescopen uit het begin van de 17e eeuw en die van het eind van de 20e eeuw, ligt een wereld van verschil. Bekeek men de sterren aanvankelijk met eenvoudige verrekijkers, met maar twee lenzen, nu zijn het metersgrote installaties met ingewikkelde combinaties van lenzen en spiegels. Had men vroeger aan de rand van de stad al een voldoende heldere blik op de hemel, nu zijn observatoria vaak ver van de bewoonde wereld op hoge bergen met heldere luchten geplaatst. Er wordt zelfs gewerkt aan een telescoop in de ruimte.



VISSSEN IN VERZUURD WATER

560

S.E. Wendelaar Bonga en L.H.T. Dederen

Verzuring van water leidt tot verstoring van de water- en ionenbalans van vissen, inclusief de zuur-base balans. Waarschijnlijk beschikken veel vissen over mechanismen om deze verstoringen teniet te doen. Deze mechanismen zijn wel succesvol op korte termijn, maar kosten de vis veel energie, waardoor de groei en de voortplanting worden vertraagd. Naast de grote gevoeligheid van visse-eieren en -larven voor verzuring, dragen deze verschijnselen in sterke mate bij aan de afname van de visstand in verzuurde wateren.

ACTUEEL

570

Chemie van het leren / Watermolens / Rijmeters / Virussen in de ruimte / Etsen van halfgeleiders / Supernova dichterbij / Thalidomide toch mirakelgeneesmiddel?

TEKST VAN TOEN

576

De handbrandblusscher en zijn voordelen

Octrooien en merken in Museon

De Orde van Octrooigemachtigden bestaat 75 jaar. Ter gelegenheid daarvan heeft het Museon, het Museum voor het Onderwijs, een tentoonstelling ingericht over de geschiedenis en betekenis van octrooien en merken.

Dertien grote Nederlandse bedrijven tonen er een aantal van hun belangrijkste octrooien.

De tentoonstelling is te zien tot 7 september in het Museon, dat overigens dit voorjaar pas geopend is. Een bezoek aan de vaste collectie is ook aanbevelingswaardig. Het Museon is gevestigd in een splinternieuw gebouw aan de Stadhouderslaan 41 in Den Haag. Het deelt zijn ingang met het Haagse Gemeentemuseum. Het ruimtetheater Omniversum ligt ernaast. Openingsdagen van dinsdag t/m zaterdag van 10 tot 17 uur, op zon- en feestdagen van 13 tot 17 uur.

Inlichtingen: ☎ 070-514181

Veranderend Nederland in de Flevohof

Het vorig jaar door Natuur en Techniek uitgegeven boek 'Veranderend Nederland' trekt nog steeds de aandacht. Sinds kort zelfs van een massaal publiek. Natuur en Techniek werd namelijk door de Flevohof gevraagd met foto's uit het boek een expositie samen te stellen, in het Hoofdpaviljoen van de Flevohof. Op 29 mei j.l. werd de expositie officieel geopend door minister Braks van Landbouw en Visserij. Deze nam destijds ook het eerste exemplaar van Veranderend Nederland in ontvangst bij de viering van het vijftigjarig jubileum van de Landinrichtingsdienst, ter gelegenheid waarvan het boek is verschenen.



Het dorpje Weiwerd in Groningen, onderdeel van een veranderend landschap. (Foto: Bart Hofmeester).

De expositie geeft op bijna vijftig panelen een overzichtelijk beeld van de veranderingen die zich in de laatste vijftig jaar op het platteland hebben voltrokken en van de rol die planmatige landinrichting daarbij gespeeld heeft.

In de expositieruimte is een driedimensionale diaprojectie te bewonderen van de Landinrichtingsdienst, die aan het tot stand komen van de expositie medewerking heeft verleend. Het hele zomerseizoen is de expositie te bezichtigen. Het boek 'Veranderend Nederland' is er te koop voor f 69,50.

Tegelijk met de expositie Veranderend Nederland is het nieuwe Vlindercentrum van de Flevohof geopend, een tropische kas, beplant met vele soorten speciale nectarplanten, waaruit de rondvliegende vlinders honing kunnen halen. Behalve de beschikbare

honing is ook een hoge temperatuur (28°C) van levensbelang voor de vlinders, waarvan de meeste overigens niet ouder dan twee à drie weken worden. Vanuit de Butterfly Farm van David Lowe, op het Britse Kanaaleiland Guernsey, worden dan ook regelmatig poppen aangevoerd van tropische vlinders, oorspronkelijk afkomstig uit landen als Australië, Maleisië en Taiwan. Hun namen klinken al even fraai als hun vleugels gekleurd zijn: schitterende monarchen, boommimfen en blauwe zwaluwstaarten fladderen boven de hoofden van het publiek in het Vlindercentrum van de Flevohof, een tropische enclave in een nuchter Nederlands polderland.

De Flevohof, themapark o.a. gewijd aan land- en tuinbouw, ligt in Oostelijk Flevoland. Informatie tel. 03211-1514,

Wandelen in Brussel

Deskundig begeleide wandelingen door de oude delen van Brussel zijn er nog de hele zomer. De deelname is gratis, maar opgave is van tevoren verplicht.

Op donderdag 31 juli staat de Grote Markt en omgeving op het programma. De hele ontwikkeling van Brussel vanaf de Middeleeuwen is in dat kleine stukje stad te zien.

De achttiende eeuwse Bovenstad, de wijk rond Warande, Koningsplein en het Museumplein is op dinsdag 5 augustus onderwerp van de rondleiding. Dit gebied vormt een afgerond classisistisch bouwwerk.

Op donderdag 7 augustus laten de rondleiders de Zavelwijk zien. Deze wijk kreeg een aristocratisch karakter toen vele rijke families er in de zestiende eeuw hun 'hotels' bouwden.

De 19e-eeuwse invloeden in Brussel, verspreid voorkomend door de stad krijgen op dinsdag 12 augustus aandacht.

Dinsdag de 19e staat een bezoek aan de volkswijk Marollen op het programma. Tegen de historische achtergrond wordt de situatie van de hedendaagse wijk bekeken. Het Justitiepaleis en de tweede-handmarkt op het Vossenplein zijn ook in de rondleiding opgenomen.

De bovenstaande rondleidingen beginnen steeds om 10 uur in het Centraal Station.

Op donderdag 21 augustus is er een rondleiding in het huis dat Victor Horta aan het eind van de negentiende eeuw voor zichzelf bouwde. Tegenwoordig is het een museum en een prachtige voorbeeld van de persoonlijke interpretatie van de art nouveau door Horta. Na het bezoek aan het museum wordt in de buurt rondgewandeld waar nog meer juweeltjes van de art nouveau staan. Deze rondleiding begint om 14 uur in het Hortamuseum, Amerikaanstraat 25, 1060 Brussel.

Op dinsdag 26 augustus tenslotte krijgen de architecten van het interbellum aandacht tijdens een wandeling door de tuinwijk Logis-Floreal in Watermaal-Bosvoorde. Het verzamelpunt is om 10 uur aan het E. Pinoyplein, 1160 Brussel. Te bereiken met

metrolijn 1A, station Demey. Schriftelijke of telefonische opgave kan geschieden bij School en Museum, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Koloniënstraat 29-31, 1000 Brussel, ☎ 02/513.74.65 en doorverbinding naar School en Museum vragen.

Na de dood in Noviomagus

In een reeks opgravingen, die van 1976 tot 1983 uitgevoerd werden door archeologen van de Nijmeegse Universiteit, is ons beeld van de verschillen tussen arm en rijk in het provinciaal-Romeinse Nijmegen aanzienlijk uitgebreid. In 1982 zijn in het ommuurde grafveld van Ulpia Noviomagus (Nijmegen-West) enige uitzonderlijk rijke graven uit de Romeinse tijd aan het licht gebracht. In drie naast elkaar gelegen en ommuurde grafvelden, waar de welvarende bovenlaag, bestaande uit ambtenaren, handelaren en veteranen, gebruik van maakte, werden opzienbarende ontdekkingen gedaan. Enige van de negen aan het licht gekomen graven hebben meer dan 50 voorwerpen bevat, grotendeels van aardewerk en glas, maar ook van barnsteen, bergkristal, brons en ijzer. Onder andere werden urnen, flessen,

bronzen vaatwerk en wapens en een houten klapstoel gevonden.

Van de vele unieke vondsten trekken vooral de elf fraai bewerkte barnstenen de aandacht, de rijkste groep van in de Romeinse tijd bewerkte stukken barnsteen die uit Noordwest-Europa bekend is. Ook werden twee uiterst zeldzame ringen van bergkristal gevonden, waarvan men vermoedt dat ze de dode door hun verkoelende werking in staat stelden de vuurrivier rond de onderwereld over te steken.

Het recente onderzoek in het grafveld van Ulpia Noviomagus heeft de aandacht gevestigd op de zeer grote verschillen in bezit die er bestaan hebben tussen deze stadsbewoners en de inheemse plattelandsbevolking. Daarop wijst bijvoorbeeld de schamele inhoud van een, eveneens in de tentoonstelling opgenomen, graf uit het op slechts vier km afstand gelegen grafveld Nijmegen-Hatert. Dit grafveld werd door de bevolking van de bijbehorende plattelandsnederzetting gebruikt, en het rijkste graf kan slechts bogen op enkele bronzen sieraden. De resultaten van de opgravingen zijn te zien op de expositie 'Na de dood in Noviomagus; Romeinse graven in Nijmegen' in het Allard Pierson Museum in Amsterdam. De tentoonstelling duurt tot 24 augustus. Het museum ligt aan de Oude Turfmarkt 127, bij het Rokin. Openingstijden dinsdag tot en met vrijdag van 10 tot 17 uur, in het weekend van 13 tot 17 uur. Inlichtingen ☎ 020-5252556



Meisjeskopje op barnstenen doosje uit ongeveer 100 na Chr. (Foto: Rijksmuseum G.M. Kam., Nijmegen).

Late Night Thoughts

Lewis Thomas: Late Night Thoughts, Oxford University Press Paperback, 1985, £ 3.50, ISBN 0 19 2860 69 0.

Lewis Thomas is ongetwijfeld één van de beste Angelsaksische wetenschappelijke essayisten. Deze geneesheer was tot voor kort president van het prestigieuze Memorial Sloan-Kettering Cancer Center in New York. Zijn sprankelende essays verschenen regelmatig in *The New England Journal of Medicine*, een voor-
aanstaand medisch vakblad, en nu in het populair-wetenschappelijke maandblad *Discover*.

Late Night Thoughts is zijn derde essaybundel, na de bestsellers *The lives of a Cell* ('74) en *The Medusa and the Snail* ('79) en zijn autobiografie *The Youngest Science* ('83). Lewis Thomas paart een degelijk professioneel inzicht in het geheel van de biologie en de geneeskunde aan een schitterend literair talent, een combinatie die men zelden aantreft. Zijn essays zijn stuk voor stuk pareltjes die heel wat stof tot nadenken bieden.

Thomas schrijft over zeer uiteenlopende onderwerpen: van het wonderbare van de reukzin, de mogelijk genetische basis van altruïsme en het ontstaan van de taal, over de leugendetector, het kunsthart en de pacemaker, tot de geschiedenis van de weten-

schap, het belang van fundamenteel onderzoek en de gevaren van de nucleaire wapenwedloop.

Een driedubbele rode draad loopt door zijn meditatie. De voor-
naamste ontdekking van deze eeuw is volgens Thomas de ontdekking van onze onwetendheid: de wetenschap staat nog nergens tegenover de mysteries van de natuur. Zijn visie van de cosmos is haast mystiek en hij is bewogen door een diep esthetisch gevoel. Daarbij beschouwt hij zich als een *meliorist*: alles is in principe verbeterbaar. De wetenschap zal voor elke oud of nieuw probleem een oplossing brengen, een soort gefundeerd wetenschappelijk optimisme dus.

Tenslotte – en dit is een nieuwe leidraad in zijn essays – is Thomas bezorgd over de wapenwedloop. Ook hier heeft hij een originele inbreng in de discussie.

De essays van Lewis Thomas zijn van een zeldzame helderheid en wijsheid. Hij munt uit in zijn globale, synthetische visie – iets waar in deze tijd van overspecialisatie zo een nood aan is.

Fans van Lewis Thomas zullen in *Late Night Thoughts* hun hart kunnen ophalen. Zij die hem nog niet kennen, zullen na lezing van dit boek ongetwijfeld de voor-
gaande categorie versterken.

Peter Mombaerts
KU Leuven

Liefdesleven van enge beestjes...

In het Noorder Dierenpark te Emmen vonden dit voorjaar twee uiterst merkwaardige gebeurtenissen plaats. De eerste was de geboorte van 6 schorpioenen uit een moeder die al 1,5 jaar alleen in een terrarium gezeten had. Hoewel een periode van minstens een half jaar tussen bevruchting en geboorte bij schorpioenen normaal is mag bij 1,5 jaar zeker van een absoluut record gesproken worden. Het tweede merkwaardige feit werd waargenomen bij een paartje bidsprinkhanen. Bij deze diersoort moet het mannetje de geslachtsdaad nogal eens met de dood bekopen. Het is namelijk niet ongebruikelijk dat het vrouwtje na de paring het mannetje opeet. Soms begint ze zelfs al tijdens de paring het hoofd van het mannetje op te eten. In het Noorder Dierenpark was het echter nog gekker. Daar begon de paring pas nadat het vrouwtje de kop van het mannetje geconsumeerd had! Reden genoeg om in een van de uitgaves van het Noor-

der Dierenpark aandacht te besteden aan het liefdesleven van enkele 'enge beestjes' die bezoekers in het park kunnen zien. Hoewel de geboorte van een giraffe, een olifant of een kangoeroe doorgaans meer tot de verbeelding spreekt, is wat zich afspeelt bij de voortplanting van de in dit nummer beschreven kleine diertjes even verbazingwekkend.

Hopelijk wordt met dit boekje bereikt dat het onbekende wat bekender en daardoor meer bemind wordt en dat enge beestjes niet meer eng maar boeiend gevonden worden. De tekst is geschreven door medewerkers van het park, door mensen dus die dagelijks met die beestjes te maken hebben.

Het boekje is verkrijgbaar in de winkel in het park voor f 3,50. Het kan ook besteld worden na overmaking van f 5,10 op girorekening nr. 927586 van het Noorder Dierenpark, onder vermelding van 'Het liefdesleven van enge beestjes'.

Rectificatie

In *Natuur en Techniek* no. 5 staat op blz. 392 een foto van een kristal dat dubbele breking vertoont. Ten onrechte vermeldt het bijschrift dat het een kwartskristal betreft. Te zien is kalkspaat of calciet. Kwarts heeft een zo kleine dubbele breking dat het resultaat nooit zo te fotograferen zou zijn.

Prof. dr. M. Hack ('Buitenaards leven') is in 1922 in Florence geboren. Zij studeerde natuurkunde en sterrenkunde in Florence. Sinds 1964 is zij hoogleraar sterrenkunde aan de Universiteit van Triest.

Dr. W.A. Casparie ('Veenwegen') is op 22 april 1930 te Sneek geboren. Hij studeerde biologie in Groningen, waar hij in 1972 promoveerde. Vanaf 1958 is hij als paleobotanicus verbonden aan het Biologisch-Archaeologisch Instituut in Groningen.

Dr. V.V.A.M. Schreurs ('Eiwitturnover') is op 21 december 1946 in Nijmegen geboren. Hij studeerde daar scheikunde van 1965 tot 1973. Hij promoveerde in 1976. Sindsdien werkt hij aan de Landbouwhogeschool.

Dr. ir. H.A. Boekholt ('Eiwitturnover') is op 15 juni 1939 in Afferden (L.) geboren. Hij studeerde aan de in Wageningen en promoveerde in 1976. Sinds 1968 is hij verbonden aan de vakgroep dierfysiologie van de Landbouwhogeschool.

Prof. dr. ir. H.C.A. van Beek ('Kleurenfotografie') is in 1931 in Malang (Java) geboren. Hij studeerde scheikunde in Delft en promoveerde aldaar in 1960. In 1969 werd hij lector, in 1979 hoogleraar scheikundige technologie aan de Delftse TH.

Ir. H.M. Brand ('Kleurenfotografie') is in 1953 in Gouda geboren. Hij studeerde scheikunde aan de TH Delft en hoopt daar binnenkort te promoveren op een proefschrift over een fotografisch onderwerp. Hij werkt momenteel aan producten op basis van bijenwas.

Ir. E.E. Brand ('Kleurenfotografie') is in 1951 in Lodz geboren, waar zij ook studeerde. Ook zij onderzoekt producten op basis van bijenwas en werkt bovendien aan cosmetische formuleringen.

Dr. H.A. van de Stadt ('Optische telescopen') is op 14 juni 1939 in Zaandam geboren. Van 1957 tot 1963 studeerde hij technische natuurkunde in Delft. Sinds 1968 is hij verbonden aan de Utrechtse sterrenwacht. Hij promoveerde in Utrecht in 1974.

Prof. dr. S.E. Wendelaar Bonga ('Vissen') is op 27 oktober 1943 in Dokkum geboren. Hij studeerde biologie aan de Vrije Universiteit in Amsterdam, waar hij in 1971 promoveerde. Sinds 1976 is hij lector, sinds 1980 hoogleraar dierkunde aan de Katholieke Universiteit van Nijmegen.

Drs. L.H.T. Dederen ('Vissen') is op 9 februari 1956 in Nijmegen geboren. Hij studeerde biologie in zijn geboortestad van 1977 tot 1984. Sinds 1985 doet hij onderzoek naar de ecotoxicologische effecten van verzuring op aquatische systemen.

Requiem voor een soort

Hoewel er in deze wereld meer veranderingen dan verbeteringen zijn, zal ik op de cruciale vraag of het vroeger dan allemaal zoveel beter was met klem ontkennend antwoorden. Dat geldt de samenleving als geheel – ik ben geen fervent voorstander van pittoreske zaken als armenzorg, spinhuizen en brandstapels – en dat geldt zelfs de instituties waarin min of meer ernstig gemeende pogingen worden gedaan de grenzen van de menselijke kennis te verleggen.

Eigenlijk is de vergelijking van de huidige gang van zaken met een vroegere dan ook absurd. De vraag is natuurlijk nooit of het nu beter of slechter is dan vroeger, de vraag is of de huidige gang van zaken overeenkomt met de pretenties en idealen. Omdat de idealen gewoonlijk buiten praktisch bereik liggen en er tussen droom en daad wetten staan, en praktische bezwaren, vervallen we noodgedwongen wel eens tot de – als gezegd absurde – vergelijking met iets wat we tenminste min of meer kennen: de situatie van vroeger. Dat we daarbij een neiging hebben te vergeten dat er aan die situatie ook nogal wat moeilijkheden vastzaten, dat de huidige situatie voor een flink deel is voortgekomen uit kritiek in die goeie oude tijd, dat nemen we dan maar voor lief.

De veranderingen lopen wat onregelmatig; terwijl sommige zaken radicaal anders zijn geworden, zijn andere gehandhaafd of gewoon maar blijven bestaan omdat niemand eraan heeft gedacht ze te veranderen of soms misschien ook om de schijn te wekken dat er eigenlijk niet zo heel veel anders is geworden.

Zo zijn er nog steeds hoogleraren, mensen die soms nog worden aangesproken met 'professor', met name door figuren die niets met de universiteit van doen hebben. In de universiteit zelf heten ze gewoon Jan of Pieter-Koen of hooguit meneer. Ze hebben flink aan salaris ingeboet, ze worden feitelijk niet meer op een andere manier benoemd dan andere geleerden en als we goed kijken zien we, dat ze ook al die hoge geleerdheid nauwelijks meer nodig hebben.

Er zijn tijden geweest dat de would be jurist zich in jaquet hulde en naar de woning van de hooggeleerde toog, daar bedremmeld een half uurtje wachtte om vervolgens in de werkkamer van de wat zonderlinge, boven de werkelijk-

heid verkerende Denker zijn kennis te laten toetsen, waarna hij gewoonlijk afhankelijk van het resultaat een aantal maanden kreeg om tussen de kroegjool door de kennis wat bij te spijkeren voordat het ritueel zich herhaalde.

Tegenwoordig zorgt het bureau van de faculteit dat er een grote sporthal wordt afgehuurd waarin een driehonderd jongelui in vrije-tijdsleding kruisjes zetten op zodanig gedrukte formulieren dat ze direct door de computer kunnen worden gelezen en verwerkt. Via een voorgedrukt briefje krijgt de student dan van de computer de resultaten, en hij ziet maar wat hij daarmee doet.

De taak van een hoogleraar is dan ook een heel andere geworden. Voor wat betreft het onderwijs komt die in veel gevallen neer op het min of meer geregeld toespreken van een gigantisch gehoor en op het veelal nog minder geregeld even kijken naar werk van afgestudeerden en promovendi. Voor de rest van de – daarmee vooral niet minder druk en lang geworden – werktijd is de hoogleraar een bijzonder soort manager.

Zijn (of haar, natuurlijk) eerste functie is te bestaan, want zonder hoogleraar geen volwaardige vakgroep. Formeel geeft de hoogleraar leiding aan het onderzoek in de vakgroep, maar in veel gevallen is het werk zo gespecialiseerd, dat de professor nauwelijks in staat kan zijn de wetenschappelijke capriolen van de anderen te volgen. Ook die functie is er niet meer werkelijk. Die wordt feitelijk uitgeoefend door collega's van de onderzoekers over de hele wereld.

De belangrijkste functie van de tegenwoordige hoogleraar is eenvoudig: hij moet zien dat er geld komt. Het zal iedereen een zorg wezen of hij daartoe cocktailparties bezoekt, de kermis afreist, de populaire bink uithangt op de beeldbuis of als een voorzitter van een sportclub sponsors zoekt in het bedrijfsleven.

De huidige hoogleraar komt aan onderzoek niet toe. Dat zou men wel niet altijd zeggen aan de hand van publikatielijsten, maar dat is gezichtsbedrog: menig hooggeleerde eist in ruil voor zijn financieringsactiviteiten een co-auteurschap op alle publikaties van zijn vakgroep.

Wat een goede professor vandaag de dag nodig heeft is een innemende persoonlijkheid, een gezicht en een stem die het goed doen op de beeldbuis, een vaardige pen om in andere

media van zich te laten horen en vooral goede relaties bij het college van bestuur, het departement, het bedrijfsleven en als het even kan ook buitenlandse universiteiten.

Zo'n goede figuur moet zorgen voor veel invloed in de ZWO-werkgemeenschappen, alles doen om bestuurslid te worden van de desbetreffende ZWO-stichting, op elk congres van enig belang wel een functie hebben, in de redactie van zoveel mogelijk vaktijdschriften zitten, deel uitmaken (liefst voorzitter zijn) van elke delegatie die het departement van O en W bezoekt. Van zijn vak hoeft hij maar net iets meer te weten dan een goede wetenschapsjournalist – en eerlijk gezegd, veel meer is ook niet mogelijk voor iemand die moet doen wat hiervoor geschreven staat.

Een hoogleraarschap als kroon op een wetenschappelijke carrière is daarmee eigenlijk onzin geworden. Uit een doelmatigheidsoogpunt is het zelfs tamelijk absurd een uitstekende onderzoeker hoogleraar te maken, want daarmee ben je een uitstekende onderzoeker kwijt en het is maar de vraag of je er een handige kwartjesvinder voor terug krijgt.

Het is natuurlijk wel handig als een professor ook iets weet van het vak waarvoor hij geld moet vinden, en nog handiger wanneer hij zelf wat onderzoekservaring heeft, zodat hij behoorlijk op de hoogte is van het produkt dat hij moet zien te slijten. Maar de professor als boven alle anderen uitstekende – en daardoor misschien soms goedaardig zonderlinge – geleerde is een zeer snel verdwijnende soort. Jammer, maar er zal niet makkelijk meer een ecologische niche voor de soort kunnen worden gevonden.

Voortaan vragen we financieringsdeskundigen. Enige kennis van het betrokken vak strekt tot aanbeveling.

A. de Kool

Zure haring

Het is bijna onvoorstelbaar met hoeveel verve en naïveteit de mensen steeds opnieuw ervan uitgaan dat ze de natuur beheersen. De ene ontwikkeling na de andere wordt ingezet, tegenwoordig naar aspecten tevoren doorgerekend, met de vrijwel onveranderlijke slotsom dat als er maar aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan, het allemaal best mee zal vallen en er geen serieuze problemen te verwachten zijn. En dat blijkt even onveranderlijk toch wel het geval te zijn. Dat kan ook nauwelijks anders, want ten eerste worden er altijd nieuwe ontwikkelingen gestart waarbij men de voorwaarden niet goed in de hand heeft, ten tweede blijken er – en dat ligt achteraf telkens weer voor de hand – juist door het nieuwe van de ontwikkeling verschijnselen op te treden die men nooit had kunnen voorzien, gewoon omdat ze er nooit in die vorm zijn geweest.

We moeten ook inzien dat er waarschijnlijk niet werkelijk veel keus is. Meestal zijn er acute problemen die moeten worden opgelost, en dat die oplossing nieuwe problemen zal meebrengen is van later zorg. Niemand kan nog overzien wat de gevolgen zullen zijn van het verdwijnen van de tropische regenwouden, maar dat ze dramatisch zullen zijn lijkt een redelijke gok. Dat kunnen we nu wel allemaal zeggen tegen de bewoners van de betrokken gebieden, maar ook daar neemt de bevolking snel toe en dan wordt het de vraag voor de individuele burger daar of die dit jaar eten voor zijn kinderen en zichzelf wil hebben, dan wel ergens in een vage toekomst een wereldramp wil voorkomen, waarvan trouwens de omvang nog helemaal niet duidelijk is. Het is niet moeilijk te schatten hoe het antwoord op die vraag zal uitvallen.

Dat wordt er allemaal niet beter op in de westerse samenlevingen, waar binnen hoogst gecompliceerde structuren met onduidelijke werkelijke verantwoordelijkheidsverdelingen functionarissen een bepaalde taak moeten vervullen. In het kader van die taak dragen ze bij aan beslissingen die optimalisatie van een minimaal deel van de hele maatschappelijke machinerie tot doel hebben. Er is geen erg ingewikkeld model voor nodig om het inzicht te verschaffen dat al deze bijdragen te zamen de sterke neiging hebben om, 'als door een onzichtbare hand geleid', een desastreuze uitwerking op de omgeving te hebben.

Zo zien we op grote schaal verzuring van de omgeving optreden, op een zo grote schaal en via zoveel bronnen, dat de maatregelen ertegen vooralsnog tamelijk futiel lijken.

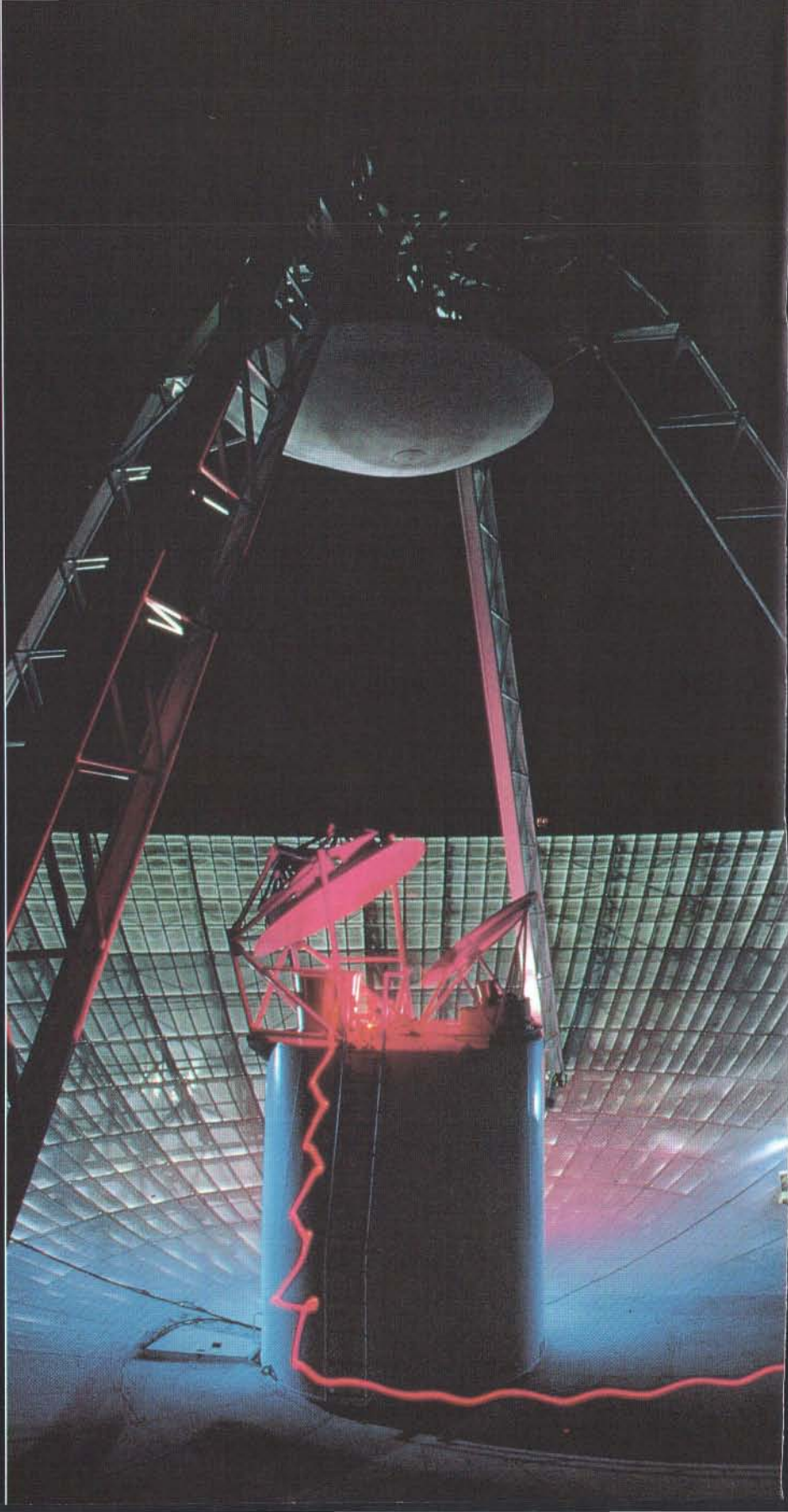
Nog verbazingwekkender wellicht dan de voortgang van de menselijke ingrepen in de natuur is het vermogen dat we hier en daar kunnen waarnemen tot herstel en aantasting. De grondwaterstand in een gebied wordt veranderd en binnen een jaar daarna tiert er een plantje dat de afgelopen eeuwen alleen op honderden kilometers afstand van die plek voorkwam.

Op pag. 560 kunnen we zien dat de verzuring van de omgeving – zoals eigenlijk te verwachten was – in eerste aanleg vernietigend is voor de visstand. Bij enkele onderzochte soorten evenwel blijkt, dat ze zich wonderwel aan het nieuwe milieu aanpassen.

Vooralopig geen reden tot optimisme, maar vooral tot verwondering en daarmee ook tot extra voorzichtigheid: we weten er toch allemaal nog maar erg weinig van.

EURO
ARTIKEL

M. Hack
Universiteit van Triëst



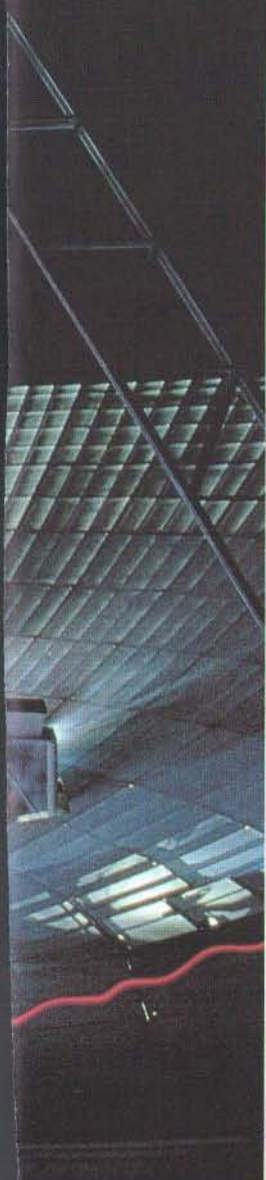
ZIJN WE ALLEEN?



De speurtocht naar buitenaards leven

Ooit haalde de groep 'Het Goede Doel' de hitparade met de vraag "Is er leven op Pluto". Het antwoord luidt: 'nee'. Maar daarmee is nog niet gezegd dat onze eigen planeet de enige in het heelal is waar leven mogelijk is. Het is heel goed denkbaar dat er andere zonnestelsels bestaan, met een planeet waar zodanige omstandigheden heersen, dat er leven mogelijk is. Astronomen zijn er al jaren naar op zoek.

Radiotelescopen spelen een belangrijke rol bij de speurtocht naar buitenaards leven. Een van de grootste die bij het SETI-project (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) is ingeschakeld, is deze 64 meter 'Mars Disk'. De rode streep is veroorzaakt door de zaklantaarn van een technicus die in het centrale deel aan het werk is.



Buitenaardse intelligentie

"Onze meest vooraanstaande wetenschapsmensen", zei de Amerikaanse senator Proxmire in 1981, "beweren dat er intelligent leven moet zijn buiten ons melkwegstelsel. Ik heb altijd gevonden dat ze, als ze willen speuren naar intelligente wezens, hier in Washington moeten beginnen, waar intelligentie al zo zeldzaam is. Ze zou hier wel eens moeilijker te vinden kunnen zijn dan buiten het zonnestelsel". Dit antwoord gaf de senator op het verzoek van NASA om twee miljoen dollar ter ondersteuning van de 'Search for Extra-Terrestrial Intelligence', het SETI-programma.

De recente speurtocht naar buitenaardse intelligentie is al begonnen tegen het einde van de jaren vijftig. Men was toen in gaan zien dat men niet alleen uit lichtsignalen, met optische telescopen dus, informatie kon verkrijgen over ver verwijderde sterrenstelsels, maar ook door het opvangen van radiogolven. De korte golven van het lichtspectrum kunnen namelijk door het interstellair stof worden verstrooid. Dat gebeurt niet met de aanzienlijk langere radiogolven. Bovendien zijn de ontvangers voor radiogolven, radiotelescopen noemt men ze, erg gevoelig. Ze kunnen radiogolven opvangen van sterrenstelsels die zo ver verwijderd zijn, dat ze met lichttelescopen niet waarneembaar zijn.

Het OZMA-project

In een artikel in het tijdschrift *Nature* van 19 september 1959 werd door Giuseppe Cocconi en Philip Morrison gepleit voor een project dat tot doel zou moeten hebben systematisch te speuren naar radiosignalen van buitenaardse beschavingen.

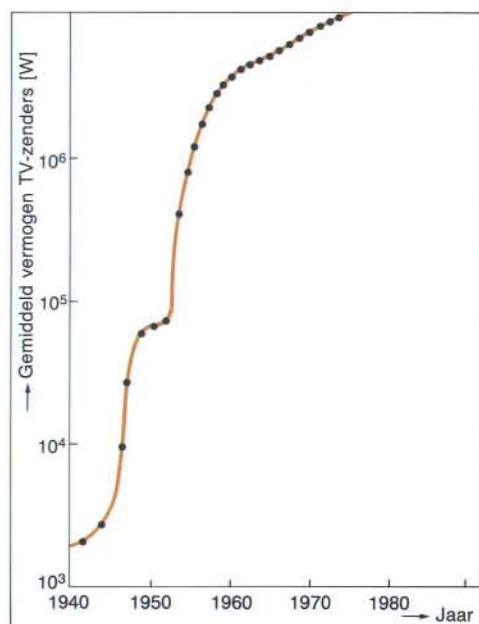
Het was ondermeer dit artikel dat de radio-astronoom Frank Drake van het Green Bank Observatorium in West-Virginia ertoe bracht om een project te starten dat OZMA zou heten; naar de prinses in het denkbeeldige land Oz, uit een verhaal dat in Angelsaksische landen grote bekendheid geniet. De ontvanger werd op een golflengte van 21 cm afgestemd, dat is de radiolengte waarop neutrale waterstof haar straling uitzendt (zie Intermezzo II). Waterstof is het meest voorkomende element in het universum en het zou voor elke technologisch hoog ontwikkelde beschaving een ver-

eiste zijn de fundamentele structuur van het melkwegstelsel te ontrafelen door detectie van juist die golflengte.

Drake richtte zijn 26 meter-telescoop op twee sterren die in 'de buurt' liggen, Epsilon Eridani en Tau Ceti. Onafgebroken werd er gedurende enige maanden geobserveerd, maar zonder resultaat. Toen werd project-OZMA opgeheven, maar met het voornemen er nog eens op terug te komen.

Nadien zijn er, door observatoria in de Verenigde Staten en de Sovjet-Unie, zo'n dertig pogingen gedaan signalen van andere beschavingen op te vangen. Ook OZMA werd nieuw leven ingeblazen, nu als OZMA II, en in plaats van de 26 meter-telescoop werd er nu een gebruikt waarvan de reflector een doorsnede had van 91 meter. Daarmee werd een 650-tal sterren van het 'zonnetype' (zie Intermezzo I) tot op een afstand van 75 lichtjaren van de Aarde onderzocht, maar de resultaten zijn vooralsnog teleurstellend.

Nog korter geleden is men begonnen, met behulp van de reusachtige 305 meter Arecibo-radiotelescoop in Puerto Rico en de 91 meter-telescoop van Greenbank, meer dan 200 sterren van het zonnetype op afstanden tot 1000 lichtjaren te observeren.



SETI en CYCLOPS

In december 1981 organiseerde de Sovjet-Unie een internationale conferentie, in Estland, die gewijd was aan het zoeken naar buitenaards leven. Een van de deelnemers, de Rus I.S. Shklovsky was een enthousiast aanhanger geweest van SETI, het programma voor 'Search for Extra-Terrestrial Intelligence'. Nu meende hij, evenals de Amerikaan F. Tipler, dat er geen intelligente levensvormen konden zijn in ons melkwegstelsel. De meeste sterren zijn er ouder dan onze Zon en hun eventuele planeten zouden dan beschavingen moeten huisvesten die veel verder geëvolueerd zijn dan de onze. Ze zouden daarvan blijk hebben moeten geven en dat is niet gebeurd.

Op de conferentie presenteerde R.D. Dixon de resultaten van een onderzoeksprogramma dat al vanaf 1973 aan de gang was aan de Universiteit van Ohio en waarin de noordelijke hemel werd afgetast. Dixon deelde mee dat er veel sterke signalen waren opgevangen, dat de meeste ervan waarschijnlijk van lokale oorsprong waren en dus niet afkomstig van een wolk of iets dergelijks. Hij kon niet voor alle signalen een verklaring vinden en meldde dat het onderzoek werd voortgezet.

Een bijzonder ambitieus plan, het CYCLOPS-project, is in dat verband voorgesteld door NASA. Men wil honderden radiotelescopieën, elk met een middellijn van 100 meter, plaatsen op een oppervlakte van enkele tientallen vierkante kilometers. NASA kreeg er echter niet de nodige gelden voor. Wel kon een nieuw SETI-programma worden bekostigd.

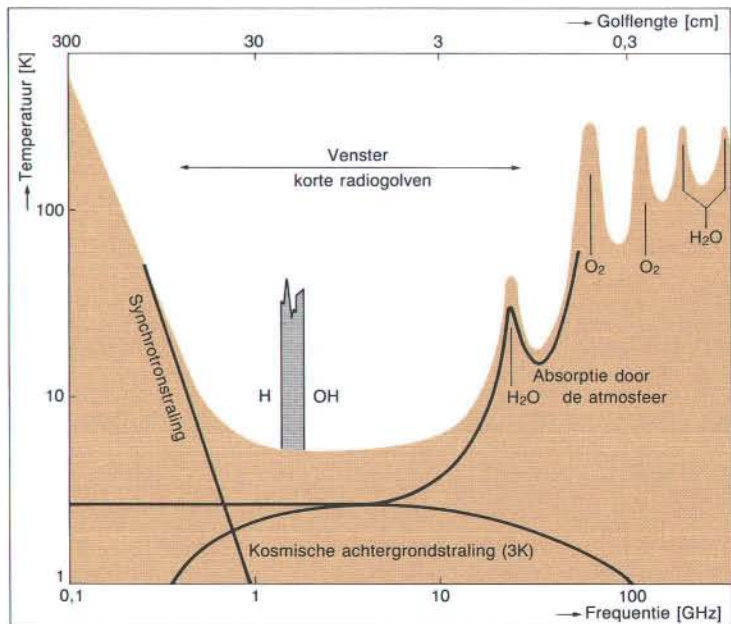
Kijken door het juiste venster

Men neemt algemeen aan dat de grootste kansen om radiosignalen uit de ruimte op te vangen liggen in het korte-golfgedebiet van het spectrum van radiogolven, dat zijn golflengten van 3 tot 30 centimeter (zie fig. 2). Langere golflengten van kunstmatige oorsprong lopen kans te verdinken in de synchrotronstraling die wordt uitgezonden door interstellair elektronen. Golflengten die kleiner zijn dan 3 centimeter worden sterk geabsorbeerd door water- en zuurstofmolekulen in de aardse atmosfeer. Bovendien worden in het 3-30 centimetergebied de emissielijnen van de meeste gassen in de interstellair ruimte gevonden.

Omdat het heelal zo immens groot is, zou het zeker 500 jaar duren voordat elke ster die op het programma staat gedurende één minuut

Links: Fig. 1. Als een buitenaards wezen met een radiotelescoop sinds 1940 de Aarde geobserveerd heeft, zal zij een steeds toenemende activiteit gemeten hebben. Het totale vermogen van de radiogolven die vanuit onze planeet uitgezonden worden nam in die periode met een factor 2500 toe.

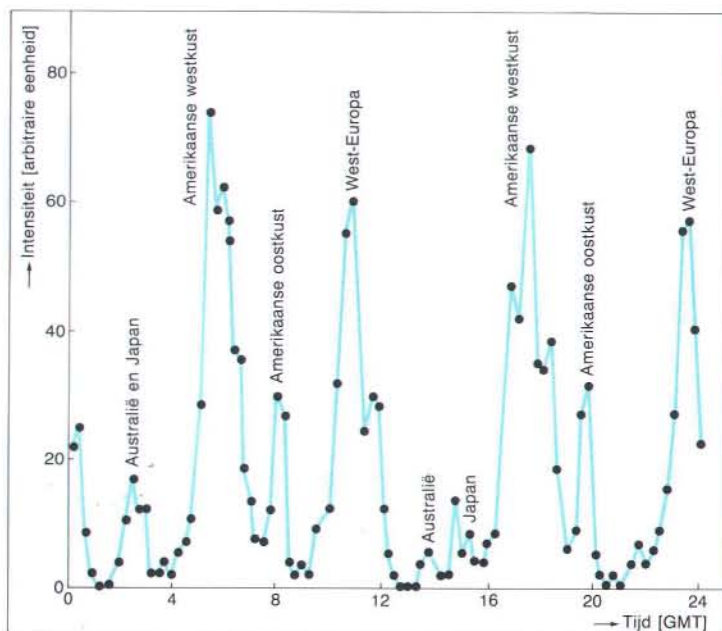
Rechts: Fig. 2. Het golflengtegebied tussen 3 en 30 cm is het meest geschikt om naar buitenaardse intelligentie te zoeken. Bij langere golven treedt verstoring op door interstellair synchrotronstraling. Kortere golven worden geabsorbeerd door water- en zuurstofmolekulen in de atmosfeer.



op slechts één gekozen frequentie is onderzocht. Om dit bezwaar op te vangen wil men in het SETI-programma een ontvanger bouwen waarin nieuwe vindingen zijn verwerkt, zoals een spectrum-analysator die 8 miljoen kanalen gelijktijdig onder handen neemt. Men denkt hiermee de hele hemel, met de gekozen golflengten, in drie jaar te kunnen aftasten om daarna de aandacht te richten op de 800 sterren van het zonnetype die minder dan 80 lichtjaren van ons zijn verwijderd. Ook wil men proberen radiosignalen op te vangen die door een vreemde beschaving voor eigen gebruik zijn uitgezonden, zoals er van de Aarde signalen uitgaan van burgerlijke en militaire zenders. Als een beschaving op een planeet die wentelt om Barnard's ster – zes lichtjaren hier vandaan – 40 jaar geleden de Aarde geobserveerd zou hebben, zou zij niets ongewoons hebben bespeurd: er waren toen geen krachtige radiozenders. Nu zou diezelfde beschaving opmerken dat sterke en zwakke radiosignalen elkaar afwisselen met een periodiciteit van 24 uur, de tijd waarin de Aarde om haar eigen as draait. De krachtigste zenders zijn immers niet gelijkmatig verdeeld over onze planeet, maar staan vooral opgesteld in Europa en Noord-Amerika (zie fig.3).



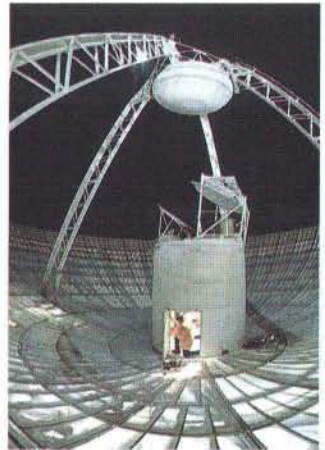
Rechts: Fig. 3. Een waarnemer op een planeet die rond Barnard's ster draait, zou met haar radiotelescoop een zeker ritme in de emissie van radiogolven ontdekken, als gevolg van de concentratie van radio- en TV zenders in Europa en Noord-Amerika.





Links: De 64 meter 'Mars Disk' van het SETI-project in volle glorie. Als de schotel horizontaal staat bevindt de punt van de antenne zich 100 m boven de grond.

Onder: Een technicus aan het werk in het centrale deel van de 'Mars Disk'.



Niet meer een dwaas idee

Het SETI-programma wordt nu niet meer als gekkenwerk beschouwd, maar wordt door wetenschapsmensen van verschillende disciplines ondersteund. Op een vergadering van de International Astronomical Union in Patras, Griekenland, in 1982, werd een comité opgericht dat zich speciaal met dit systematisch onderzoek naar mogelijk leven in het heelal moet bezighouden. Het comité zal niet alleen onderzoek stimuleren naar intelligente wezens, maar tevens naar leven in het algemeen — een tak van onderzoek die nu bioastronomie heet — en naar de evolutie van planeten en van organische molekulen in de interstellaire ruimte.

Op deze vergadering stelde Carl Sagan een petitie op die werd ondertekend door 72 vooraanstaande wetenschapsmensen. Daarin werd opgeroepen tot bespoediging van het onderzoek naar buitenaards leven. Ondermeer werd het hiervoor vermelde argument van Shklov-

sky verworpen, dat we niet moeten rekenen op het bestaan van buitenaardse beschavingen, omdat er nu eenmaal geen tekenen van hun aanwezigheid zijn opgevangen. Zo'n argument legt andere beschavingen onze omstandigheden en ons denkkader op. Geen enkele vooraf bedachte redenering kan ons helpen iets te weten te komen, dat kan alleen een observatieprogramma.

Bij zo'n observatieprogramma zal de aandacht zich vooral richten op sterren met planeten. Het zijn de planeten waar andere beschavingen zich zouden kunnen vestigen. Hoe komt men te weten om welke sterren er planeten wentelen? Daarvoor moet men weten hoe sterren en planeten ontstaan.

Het ontstaan van planeten

Het is nog niet met zekerheid bekend hoe ons zonnestelsel is ontstaan. Een volledige theorie zou moeten kunnen verklaren hoe de

Zon ontstond en hoe de planeten en hoe de kleinere lichamen zoals planetoïden, manen, meteoroiden en kometen. Zo'n theorie zou ook duidelijk moeten maken waarom de planeten dicht bij de Zon – Mercurius, Venus, Aarde, Mars – klein zijn en een relatief grote dichtheid hebben, terwijl de verder weg cirkelende reuzeplaneten – Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus – veel groter zijn en een gemiddelde dichtheid hebben die veel lager is. Ook moet de theorie kunnen verklaren hoe het komt dat 99,9 procent van alle materie van het zonnestelsel geconcentreerd is in de Zon, wat erop neerkomt dat alle planeten bijeen, met hun satellieten, nauwelijks $1,4 \cdot 10^{-3}$ maal de zonnemassa omvatten, terwijl Jupiter en Saturnus daarvan nog het grootste deel voor hun rekening nemen.

Er zijn veel theorieën over het ontstaan van ons zonnestelsel. Algemeen gaat men er wel van uit dat het 'condenseerde' uit een samen-trekkende gas- en stofwolk van reusachtige afmetingen. Van de meeste gaswolken in het heelal wordt aangenomen dat ze roteren. Als zo'n geweldig grote nevel zich samentrekt door haar eigen zwaartekracht, soms misschien onder invloed van de schok van een nabije supernova-explosie, zal haar omvang kleiner worden en zal ze tevens sneller gaan draaien.

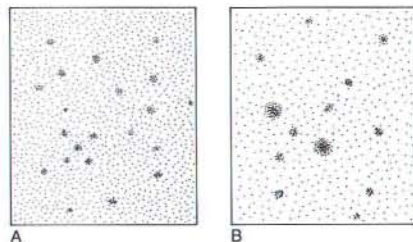
Dat hangt samen met een verschijnsel dat bekend staat als *impulsmoment*. Als er op kunstschaatsen een pirouette wordt gemaakt en de tegen het lichaam gehouden armen worden uitgestrekt, neemt de draaisnelheid af. Laat de kunstrijd(st)er de armen daarna zakken, dan neemt de draaisnelheid weer toe. Een systeem dat om een as draait heeft een bepaald impulsmoment, dat gelijk is aan het product van de massa, de draaisnelheid en de afstand tot het draaipunt. Als het lichaam zich uitbreidt (de armen worden uitgestrekt), wordt de afstand tot de draaias groter. Maar de massa blijft gelijk en omdat de wet van behoud van impulsmoment voorschrijft dat er geen impulsmoment verloren kan gaan, moet de draaisnelheid kleiner worden.

Toegepast op de vorming van ons zonnestelsel betekent dit dat door samentrekking van de 'oer-zonnewolk' de draaisnelheid toenam. Aan de equatoriale omtrek (het verst van de draaias) werd de centrifugale kracht zo groot, dat de gassen daar een schijf vormden die niet meedeelde aan de samentrekking. Aan deze

Ontstaan van het heelal

Er zijn verschillende theorieën over het ontstaan van het ons bekende heelal. De meeste onderzoekers kunnen zich tegenwoordig vinden in de *oerknal-* of *big bang-*theorie. Wat er toen gebeurd kan zijn, is schitterend beschreven in Steven Weinberg's boek 'De eerste drie minuten'.

Tussen 15 en 20 miljard jaar geleden zou er een explosie zijn geweest vanuit een toestand van oneindig hoge dichtheid en temperatuur. In de eerste drie minuten was de temperatuur zo hoog – veel meer dan 100 miljard graden – dat er nog geen atomen konden bestaan en zelfs geen samengestelde



atoomkernen. Alle materie bestond uit elementaire deeltjes zoals elektronen, positronen, fotonen en een heel kleine hoeveelheid veel zwaardere protonen en neutronen. Deze ontstonden uit energie en werden 'afgebroken' tot energie. Na enkele minuten konden protonen (waterstofkernen) en neutronen zich verbinden tot heliumkernen. Omdat er veel meer protonen waren dan neutronen, die zwaarder zijn en in het begin minder makkelijk gevormd werden, zou het heelal in zijn jonge fase voor het grootste deel uit waterstof bestaan en voor een klein deel, ongeveer een kwart, uit helium. Na honderdduizend jaren was de temperatuur zo ver gedaald dat elektronen en kerndeeltjes zich konden combineren tot waterstof- en heliumatomen.

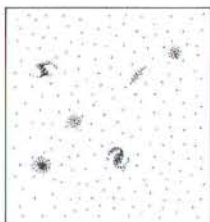
Tijdens de voortgaande afkoeling en uitdijning van het jonge heelal, moesten er onregelmatigheden zijn opgetreden in de verdeling van materiedeeltjes. In sommige gebieden waren ze dichter opeengepakt dan in andere. Die verdichting (in feite waterstof-

wolken) begonnen onder invloed van hun eigen zwaartekracht ineens te storten en rond te draaien. Daarbij vielen ze uiteen in deelwolken die elk verder gingen zich samen te trekken. Zo ontstonden de sterren gegroepeerd in grote, afgeplatte, wentelende sterrenstelsels van honderd miljard en meer sterren.

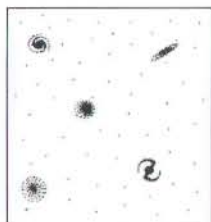
Ons eigen sterrenstelsel, het melkwegstelsel genoemd, heeft net zo als vele andere van zulke stelsels de vorm van een afgeplatte spiraal met een middellijn van 100 000 lichtjaren. Een lichtjaar is de afstand die het licht in een jaar aflegt en bedraagt $9,5 \times 10^{12}$ kilometer. De ster die het dichtst bij de Zon staat, Proxima Centauri, is 4,6 lichtjaren van ons verwijderd. Maar bijvoorbeeld de ster Rigel, in het sterrenbeeld Orion,

staat meer dan 500 lichtjaren weg. En er zijn heel wat sterren die nog veel verder weg staan.

Niet alle sterren die we zien zijn uit de oorspronkelijke waterstofwolken ontstaan. De eerstgevormde sterren ondergingen namelijk een verdere evolutie. Door de samentrekking van de wolken liep de temperatuur binnenin hoog op, zo hoog, dat er kernfusieprocessen gingen optreden. In die processen werden waterstof- en heliumkernen in kernen van zwaardere atomen omgezet. Vooral in heel grote sterren traden door zulke veranderingen ingrijpende gebeurtenissen op; ze konden zelfs exploderen en vormden een supernova. Dan werden, en worden nog, de nieuw gevormde elementen de ruimte ingeslingerd, waar ze zich mengen met daar aanwezige



C



D

Links: Fig. 1-1. Het ontstaan van melkwegstelsels. In den beginne (A) is alle materie geïoniseerd. Plaatse-lijk ontstaan verdichtingen (B). De materie verdicht zich verder onder invloed van de zwaartekracht (C). Deze verdichting zet zich steeds verder door, waardoor uiteindelijk de stelsels die we kennen geleidelijk ontstaan (D). De stippen geven een maat voor de stralingsdichtheid.

Linksonder: Een melkwegstelsel met fraaie spiraal-vorm in het sterrenbeeld Hond.

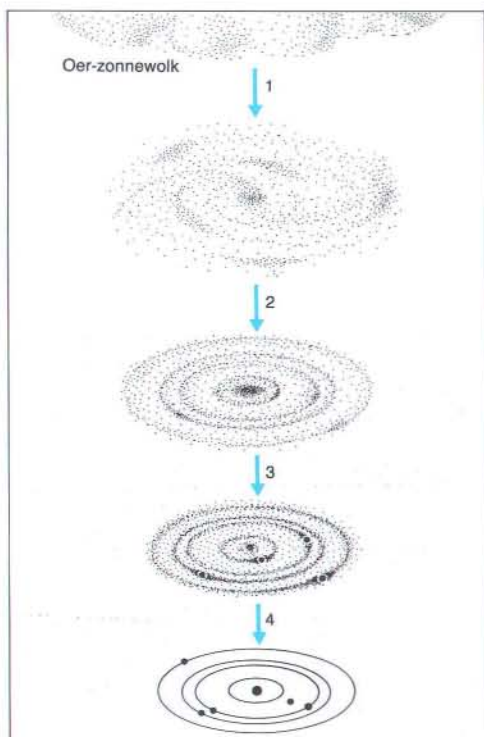


gaswolken. Uit deze verrijkte wolken ontstonden nieuwe generaties sterren die genoeg elementen bevatten om ook planeten te kunnen vormen.

Onze Zon, die de Aarde een miljoen keer kan bevatten, is een betrekkelijk kleine ster van een nieuwe generatie. Zij is nu bijna vijf miljard jaar oud. Ze bevindt zich dicht bij de rand van het melkwegstelsel dan bij de kern.

Alle sterren van het melkwegstelsel wentelen om de kern van het stelsel en sneller naarmate ze er dichterbij zijn. De Zon doet over één omwenteling ongeveer 250 miljoen jaar en dan is er één galactisch jaar voorbij (Grieks: gala = melk). Eén galactisch jaar geleden beleefde de Aarde de Permtijd, waarin de reptielen en de naaktzadigen zich verbreidden.

Er zijn in het ons bekende heelal miljarden sterrenstelsels, zo groot of zelfs groter dan ons melkwegstelsel. Ze kunnen elk tot honderden miljarden sterren omvatten. Sommige van die stelsels staan miljarden lichtjaren van ons vandaan en 'vluchten' met grote snelheid weg. Dat doen nagenoeg alle stelsels, maar minder snel naarmate ze dichterbij zijn.



Links: Fig. 4. Fasen in het ontstaan van het zonnestelsel. Een deel van een interstellair wolk (1) draait rond en wordt daardoor afgeplat tot een schijf (2). Als er evenwicht ontstaat tussen de samen-trekkende kracht en de middelpuntvliedende kracht (3), klontert het materiaal van de schijf samen tot planeten (4).

Rechts: Een fraai voorbeeld van een interstellair wolk is de nevel M16, die oplicht door jonge sterren.

Onder: Het grootste instrument in de speurtocht naar buitenaards leven is de 305 meter Arecibo radiotelescoop op Puerto Rico.



schijf werd als het ware draaiing overgedragen (de armen van de kunstrijd(st)er strekken zich), zodat de draaisnelheid van de kern afnam en deze zich langzaam verder ging samen-trekken tot de oerzon. Uit die schijf van gassen en stofdeeltjes ontstonden de planeten. Zo ging het er mogelijk aan toe in het zich vormende zonnestelsel. Andere sterren kunnen geen schijf maar een of meer partners gevormd hebben. Men denkt dat de helft van alle sterren dubbelsterren of systemen van meer sterren zijn. De andere helft zou dan planeten kunnen hebben.

De voortgaande inkrimping van de reusachtige kern van ons stelsel, de *protozon*, deed de temperatuur in het binnenste hoog oplopen, zo hoog dat er kernfusieprocessen op gang kwamen. De gloeiende protozon deed veel stoffen in de nabijheid verdampen en blies ze weg naar de buitenste delen van de schijf. Niet-vluchtige stoffen bleven dicht in de buurt. De deeltjes botsten met elkaar en kleefden dikwijls aan-een. Sommige van deze groeiende brokstukken werden zo groot, dat hun zwaartekracht ande-





re deeltjes aantrok, waardoor ze tenslotte uitgroeiden tot planeten. Overgebleven brokstukken moeten, in die jonge fase, overal zijn ingeslagen en kraters hebben nagelaten.

De planeten die het dichtst bij de zon werden gevormd, bestaan uit zware stoffen, gesteenten en metalen en worden aardachtige planeten genoemd. Het zijn Mercurius, Venus, Aarde en Mars. Ze zijn betrekkelijk klein en hun zwaartekracht was niet in staat een atmosfeer van lichte gasen als waterstof en helium vast te houden. Ze verkregen echter toch een (secundaire) atmosfeer door vergassing van gesteenten onder de oppervlakte. Deze gasen werden door vulkanen uitgestoten. Alleen Mercurius was te klein om zelfs die atmosfeer vast te houden.

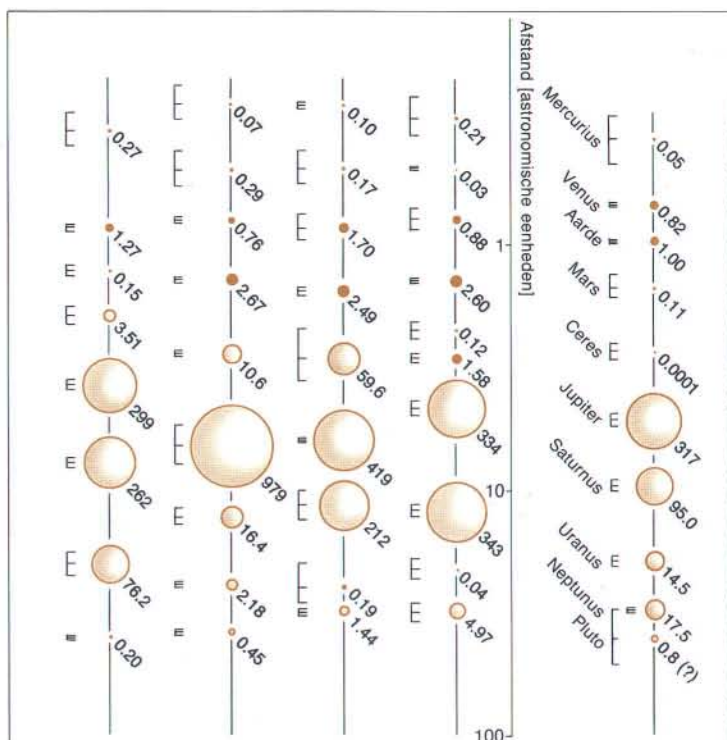
Verder weg, daar waar de reuzenplaneten ontstonden, was het koel genoeg om vluchtige stoffen tot ijspartikeltjes te bevriezen terwijl er bovendien ook daar nog wel steenachtige deeltjes en metaaldeeltjes aanwezig geweest zijn. Door hun grootte konden deze een gasmantel invangen. Vooral de atmosfeer van Jupiter

heeft een samenstelling die veel lijkt op die van de Zon; zij bestaat grotendeels uit waterstof en helium, dat er in vaste of vloeibare vorm voorkomt.

Planetoïden, ook wel asteroïden genoemd, zijn zware rotsblokken met een diameter van 100 m tot 500 km. Er zijn er duizenden. De meeste bevinden zich in een gordel tussen Mars en Jupiter en slechts enkele honderden wentelen dichter om de Zon heen dan de Aarde. Men gaat er van uit dat de planetoïden nooit aaneengegroeid zijn tot planeten onder de invloed van de geweldig grote planeet Jupiter en dat ze in het beginstadium van de samenklontering door onderlinge botsingen zijn gefragmenteerd.

Aan de buitenste grenzen van het zonnestelsel zou zich volgens J.H. Oort een 'wolk' bevinden van miljarden komeetkernen, die de Oortwolk wordt genoemd. Uit die wolk maken zich bij tijd en wijle, onder invloed van passerende sterren, kometen los, die dan beginnen aan een langgerekte baan om de Zon. In de buurt van de Zon treedt verdamping op en

Rechts: Fig.5. De astronoom Dole maakte computersimulaties van het ontstaan van zonnestelsels, op grond van de betrokken fysische wetten. Eén daarvan is de wet van Titius-Bode, die een empirische berekening geeft van de afstanden tussen een zon en haar planeten. Dole ging daarbij uit van verschillende toestanden van de ster. De aardachtige planeten zijn donker aangegeven. De getallen bij iedere planeet geven de massa in verhouding tot die van de Aarde aan. De 'vorkjes' links van de planeten illustreren de mogelijke variatie in de afstand tussen ster en planeet.



Gaswolken en radiostraling

Naar aardse maatstaven is de ruimte tussen de sterren leeg. Toch komen overal in die interstellaire ruimte grote 'wolken' voor van gas- en stofdeeltjes, soms afzonderlijk, soms gemengd.

In de gaswolken gaat het hooguit om enige duizenden atomen of molekulen per cm^3 en in 'dichte' wolken om 10^3 of 10^4 per cm^3 . Op Aarde zouden we niettemin van een vacuüm spreken. Toch zijn de wolken zo groot, dat ze genoeg materie bevatten om er sterren uit te vormen.

Het gas tussen de sterren bestaat voor het grootste deel uit waterstof, gevolgd door helium en eventueel een lichte verrijking met zwaardere elementen. In de buurt van hete sterren kunnen atomen geïoniseerd worden – een proces waarin elektronen worden verwijderd. Dat kan gebeuren door de ultraviolette straling van de sterren. De geabsorbeerde ultraviolette straling kan in een andere golflengte als zichtbaar licht uitgestraald worden – geëmitteerd heet dat, de gaswolk of nevel is nu een *emissielevel* gewor-

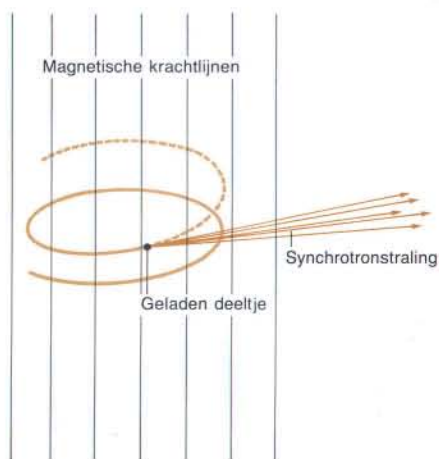
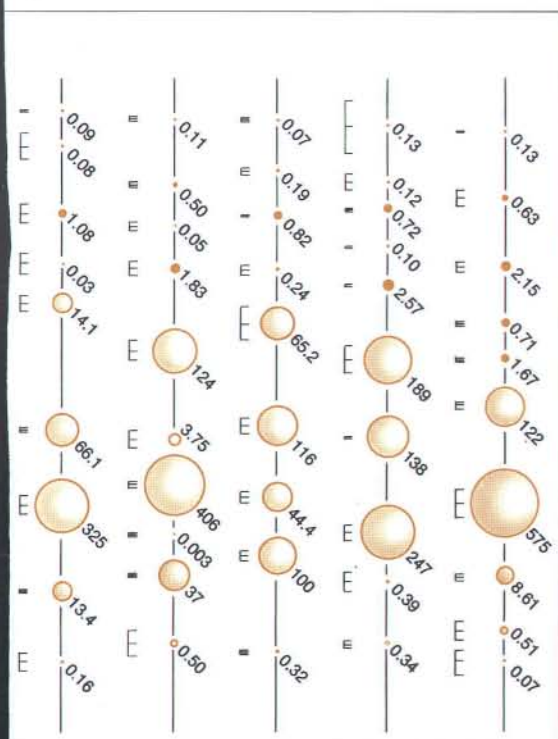


Fig. II-1. Deze figuur laat zien dat een geladen deeltje dat zich met bijna de lichtsnelheid door een magneetveld beweegt, synchrotronstraling uitzendt.



worden er een mantel en een staart gevormd (Van Nes, 1986). Omdat kometen afkomstig zijn uit de verst verwijderde delen van het zonnestelsel, zal hun samenstelling vermoedelijk niet veel verschillen van die van de oorspronkelijke nevel waaruit ons zonnestelsel 4,6 miljard jaar geleden ontstond.

Andere planetenstelsels

Computersimulaties die de planetoloog Stephen H. Dole in 1970 maakte, waarbij hij telkens uitging van verschillende begintoestanden voor een ster van ongeveer dezelfde grootte als de Zon, leverden de volgende resultaten op (fig. 5):

- de binnenplaneten van het stelsel zijn steeds de kleinste en hebben de grootste dichtheid;
- verder weg gelegen planeten zijn groter en de dichtheid is geringer;
- aan de omtrek van een stelsel bevinden zich één of twee kleine, dichte planeten, zoals Pluto in ons zonnestelsel;
- de afstanden van de omloopbanen van de planeten tot de centrale ster passen in een re-

den. Voorbeelden van zulke emissienevels, die men ook op foto's kan bewonderen, zijn de Orion-nevel en de Rosette-nevel.

In de jaren dertig werden er voor het eerst signalen in de vorm van radiogolven opgevangen uit het heelal. Deze hebben een golflengte van ééntiende centimeter tot vele meters; veel langer dan lichtgolven, die gemeten worden in tienduizenden van een centimeter. Allengs werd duidelijk dat ze afkomstig moesten zijn van interstellair gas. Neutrale, atomaire waterstof blijkt elektromagnetische energie te kunnen uitzenden met een radiogolflengte van ongeveer 21 centimeter. Het was de Nederlandse astronoom H.C. van de Hulst die in de vroege jaren veertig voorspelde dat er 21 cm-straling ontvangen zou kunnen worden als ze werd uitgezonden door wolken van waterstof. Maar pas in 1951 was de apparatuur ontwikkeld die gevoelig genoeg was voor de ontvangst van zulke radiostraling. Toen ontwikkelde zich de 21 cm-astronomie. In Westerbork staat een beroemde ontvanger of radiotelescoop, die bestaat uit een reeks afzonder-

lijke ontvangers die als een eenheid werken. Signalen uit het heelal kunnen overigens van allerlei objecten afkomstig zijn. Behalve gaswolken zijn dat bijvoorbeeld exploderende objecten, sterren, planeten, sterrenstelsels en stofwolken.

Radioastronomie wordt ook geconfronteerd met zogenaamde *synchrotronstraling*. Veel hemellichamen wekken magnetische velden op. De Aarde heeft haar eigen magnetische veld, evenals sommige andere planeten. Er zijn ook interstellair magneetvelden, die weliswaar heel zwak zijn, maar door hun omvang zeer veel energie vertegenwoordigen. Geladen deeltjes zoals elektronen worden door zo'n magneetveld sterk versneld in schroefbanen. Hun snelheid is bijna zo groot als die van het licht en daarom worden ze wel 'relativistische' deeltjes genoemd. Onder invloed van de versnelling zenden ze elektromagnetische straling uit die synchrotronstraling wordt genoemd, omdat hetzelfde verschijnsel optreedt in een experimentele opstelling die deeltjesversneller of synchrotron wordt genoemd.

gelmatig patroon, dat tot uitdrukking komt in de wet van Titius-Bode voor de afstandsverhoudingen van onze planeten tot de Zon.

Men zoekt nu naar jongere sterren met een schijf van gas en stof. Een groep astronomen van het Steward Observatory in Tucson en van het Ames Research Centrum van NASA, heeft enige tijd geleden een ster ontdekt in het centrum van een schijf van gas en stof. Het gaat om een zeer hete ster waarvan de straal en de massa 10 tot 30 keer zo groot zijn als die van onze Zon. Men kijkt tegen de volle schijf aan en de massa van die schijf wordt geschat op iets meer dan 1 procent van de massa van de Zon. De straal van het meer naar binnen gelegen deel van de schijf, dat een grotere helderheid heeft dan de buitenrand, is twintig keer zo groot als de straal van de ster. Het buitenste, koudere deel van de schijf is maar net zichtbaar. Deze *preplanetaire schijf* zou in enkele

Linksonder: Bij de telescoop van Aricebo is een groot computercentrum ingericht. Grote computers zijn onmisbaar om de enorme gegevensstroom binnen een mensenleeftijd te verwerken.

Onder: Op grond van waarnemingen van de astronomische satelliet IRAS is deze artist-impression gemaakt van wat vermoedelijk een preplanetaire schijf rond de ster Wega in Lier is.

Rechts: Een technicus hangt hoog boven de Aricebo radiotelescoop voor het noodzakelijke onderhoudswerk.

Rechtsonder: Stanley Miller voerde vanaf 1951, samen met Harold Urey, een reeks opzienbarende experimenten uit. In een glazen kolf mengde hij diverse gassen die vermoedelijk ook in de oeratmosfeer van de Aarde voorkwamen. Vervolgens stelde hij dit mengsel bloot aan een groot aantal elektrische ontladingen. Het resultaat was dat allerlei organische verbindingen gevormd werden, waaronder essentiële aminozuren.



miljoenen jaren een stelsel van planeten kunnen voortbrengen.

Verscheidende astronomen zoeken naar sterren met voltooid planeetsystemen, vooral P. van de Kamp en medewerkers aan het Sproul Observatorium in Swarthmore, Pennsylvania zijn op dit gebied actief. Omdat planeten te klein zijn om op een afstand van enige lichtjaren waargenomen te kunnen worden, let men vooral op baanafwijkingen van sterren. Als de Zon geobserveerd zou worden op 15 lichtjaren afstand, zou men kunnen zien dat er steeds een zeer kleine afwijking optreedt: een

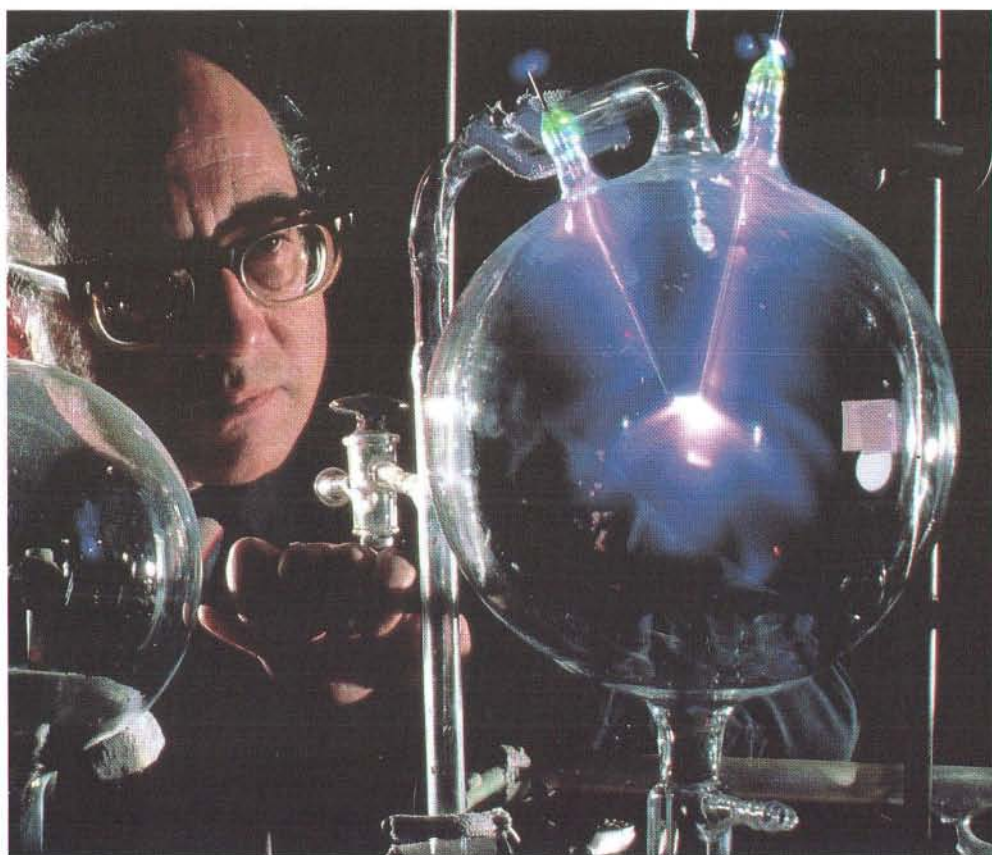
schommeling ten opzichte van haar rechtlijnige baan met een periode van 11,9 jaar, de tijd die Jupiter nodig heeft om één keer om de Zon te draaien. Ook andere sterren zouden op die manier beïnvloed kunnen worden door een grote planeet. Als het om sterren gaat die kleiner zijn dan de Zon, zou de afwijking groter zijn en makkelijker zijn waar te nemen.

Van de Kamp meent een schommeling ontdekt te hebben in de beweging van Barnard's ster — een zwak-rode ster met een massa van 0,20 maal die van onze Zon — die zou wijzen op de aanwezigheid van een planeet met een



massa als die van Jupiter. Andere astronomen konden dit echter niet bevestigen. Ook andere nabije sterren hebben nog niet de aanwezigheid van een reuzenplaneet verraden. Dit kan betekenen dat de huidige observatiemethoden nog te kort schieten.

In augustus 1983 ontdekte IRAS, de Infra-Rood Astronomische Satelliet, dat Wega, de helderste ster in het sterrenbeeld Lier, 26 lichtjaren van ons verwijderd, omringd is door een schijf van stof en misschien grotere materie-deeltjes. De schijf heeft een temperatuur die weinig hoger is dan 28°C en strekt zich uit over een afstand die groter is dan twee keer de doorsnede van ons eigen zonnestelsel. Men meent dat dit een preplanetaire schijf is. Al met al is het bepaald niet uitgesloten dat er buiten ons zonnestelsel sterren bestaan waaromheen planeten draaien. Deze kunnen in theorie door levende wezens bevolkt zijn.



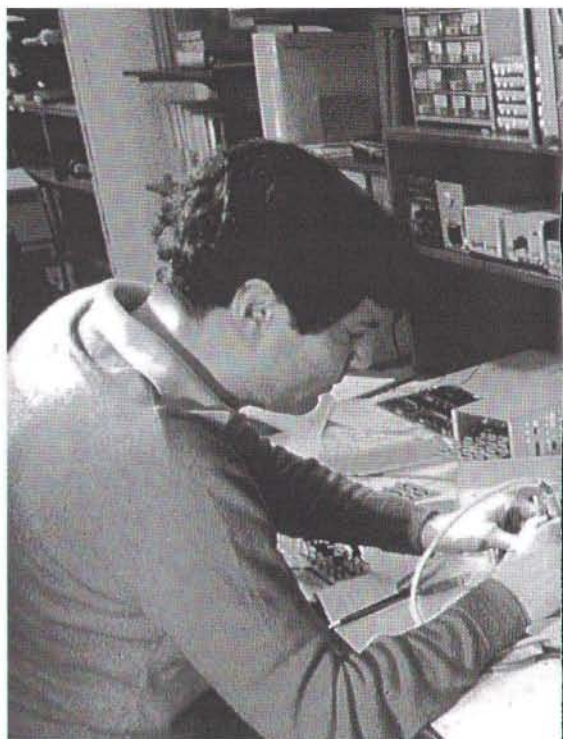
Is leven een zeldzaam verschijnsel?

Er zijn biologen die menen dat leven een buitengewoon zeldzaam verschijnsel is en dat het ontstaan ervan afhangt van een reeks samenhangende factoren of toevalligheden. Er zijn echter ontdekkingen gedaan en experimenten verricht die erop wijzen dat de bouwstenen voor het leven – organische molekulen zoals aminozuren – heel gemakkelijk gevormd kunnen worden en dat niet alleen onder de nagebootste omstandigheden van de primitieve Aarde, maar ook onder de onaardse omstandigheden in de ruimte.

In 1951 zetten Harold C. Urey en Stanley L. Miller een reeks befaamd geworden laboratoriumproeven op, om te onderzoeken of energiebronnen die aanwezig kunnen zijn geweest op de primitieve Aarde – blikseminslag, schokgolven van meteoren, ultraviolette straling, warmte – de synthese van organische stoffen uit de veronderstelde gassen van de oeratmosfeer op gang kunnen hebben gebracht. Ze namen aan dat de oeratmosfeer zuurstofloos was en grotendeels bestond uit waterstof, methaan, ammonia en water. Ze kozen voor elektrische ontladingen als energiebron. Al na een week ontstonden er aldehyden, vetzuren en aminozuren. Onder de laatste waren er vier die essentieel zijn voor het leven. Andere mengsels van gassen, met koolmonoxide, kooldioxide en stikstof – waarvan men het later aannemelijk achtte dat zij in de aardse oeratmosfeer voorkwamen – bleken net zo productief te zijn.

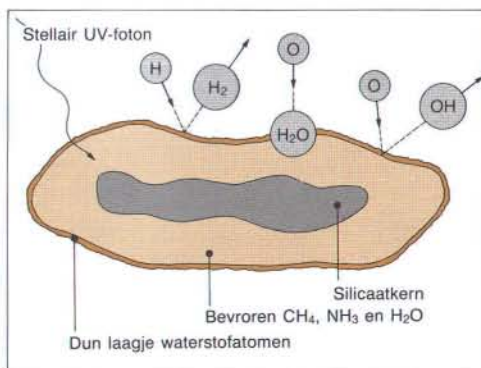
Door radioastronomisch spoorwerk op de microgolflengte heeft men in de afgelopen decennia ontdekt dat er in de interstellaire ruimte allerlei veelatomige molekulen voorkomen, waaronder veel organische. Er zijn er nu 60 bekend, waaronder formaldehyde, methanol en zelfs ethanol (de 'drinkbare' alcohol). Men meent dat synthese plaatsvindt op de oppervlakten van de stofdeeltjes in de interstellaire stofwolken.

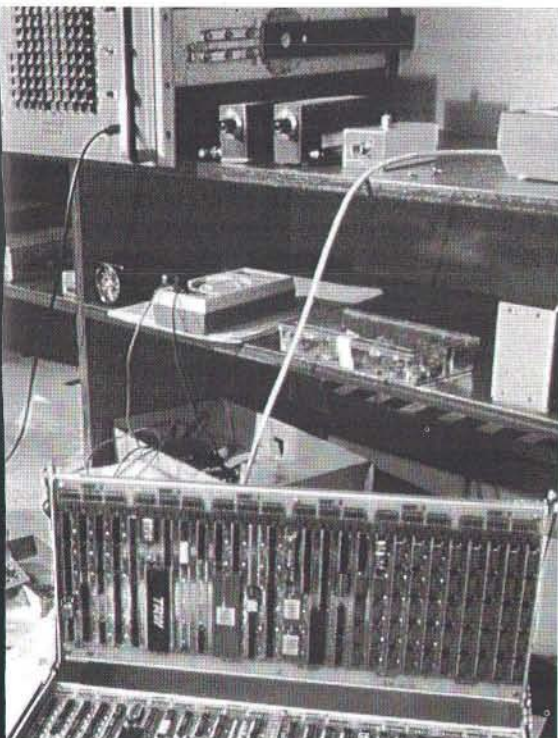
Fred Hoyle en Chandra Wickramasinghe menen zelfs het bestaan ontdekt te hebben van suikers die behoren tot de hexose-groep (koolhydraten met zes koolstofatomen, zoals glucose), maar anderen brengen daar tegenin dat de signalen op die golflengte net zo goed afkomstig kunnen zijn van anorganische siliciumverbindingen, zoals kwarts.



Boven: Een van de onderzoekers van het SETI-programma, dr. Paul Horowitz, werkt hier aan een nieuwe computer die speciaal ontworpen is om uit de door de radiotelescoop ontvangen signalen die signalen te 'vissen', die wellicht van intelligent buitenaards leven komen.

Onder: Fig. 6. Een interstellaire stofkorrel zou kunnen bestaan uit een silicaatkern, uitgestoten door een ster, die een mantel 'aantrekt' van bevroren methaan, ammonia en water. In het binnenste deel van de mantel kunnen, onder invloed van UV-straling, organische molekulen ontstaan. Het oppervlak wordt gevormd door een laagje H-atomen, die reageren met omringende gasatomen, waarbij tweeatomige molekulen worden gevormd.





Sidney W. Fox van de Universiteit van Miami, experimenteerde met droge mengsels van zuivere aminozuren bij temperaturen van 130°C. Er ontstonden binnen enkele uren eiwitachtige polymeren, *proteïnoïden* genoemd. Deze bleken in een geconcentreerde waterige oplossing bij hoge temperaturen kleine bolletjes (protocellen) te vormen die de afmetingen van een bacterie hadden en een grenslaag vormden die op een dubbelgelaagde membraan leek. Ze bleken onder bepaalde omstandigheden ook te kunnen groeien en zich zelfs door knopvorming te kunnen delen. Preparaten van zulke protocellen bleken de afbraak van glucose te kunnen katalyseren of te kunnen fungeren als enzymen. Ook andere onderzoekers hebben met protocellen geëxperimenteerd.

Natuurlijk is zo'n protocol nog geen levend wezen, maar de experimenten laten wel zien dat op leven lijkend gedrag kan ontstaan uit fysisch-chemische processen die zich mogelijk hebben voorgedaan in de oeratmosfeer van de Aarde.

Leven uit de ruimte

Er zijn echter onderzoekers die menen dat levenskiemen vanuit de kosmische ruimte op Aarde terecht zijn gekomen. Hoyle en Wickramasinghe bijvoorbeeld zijn er zeker van dat de organische bouwstoffen en zelfs virussen en bacteriën via kometen en meteorieten op Aarde terecht zijn gekomen.

Nu zijn er tal van aanwijzingen dat meteorieten organische molekulen bevatten, zoals alcoholen en vetzuren. Er zijn zelfs onderzoekers die menen DNA-structuren te hebben ontdekt in meteorieten, maar dat is niet bevestigd. Bovendien zijn er zeer recent bacteriën gevonden in de nabijheid van zwavelbronnen op de oceaانبodem, op een diepte van 2650 meter, bij een temperatuur van 250°C en een druk van 250 atmosfeer. Dit wijst er alweer op dat het verschijnsel leven onder heel extreme omstandigheden kan voorkomen.

Hoewel veel van onze kennis over het ontstaan van het zonnestelsel en van het leven nog op vermoedens berust, zou het heel wel kunnen zijn dat beide gebeurtenissen niet echt zeldzame verschijnselen zijn.

Dit artikel is voor Natuur en Techniek bewerkt door drs. R. Pos van de Stichting Opleiding Leraren in Utrecht, met medewerking van dr. R. van Helden van hetzelfde instituut.

Literatuur

- Van Helden, R., (1981). *Kijk op sterren en planeten*. Zomer & Keuning, Ede. ISBN 90-210-06024-2.
 Van Helden, R., Scherrenburg, J., (1982). *Het ontstaan van de elementen* Natuur en Techniek, 50, 1, 4 en 6.
 Van Nes, P., (1986). *Kometen - Sneeuwballen in de zonnewind*. Natuur en Techniek, 54, 3, pag.162-173
 Weinberg, S., (1983). *De eerste drie minuten - Nieuwe inzichten over het ontstaan van het heelal*. Natuur en Techniek, Maastricht. ISBN 90-7105 7322

Bronvermelding illustraties

- James Balog, Black Star/Transworld Features Holland BV, Haarlem: pag. 492-493, 496, 497, 506-507.
 Mount Wilson Observatory: pag. 499.
 Dan McCoy, Black Star/Transworld Features Holland BV, Haarlem: pag. 500, 504 (links), 505 (boven).
 California Institute of Technology: pag. 500-501.
 Fokker, Amsterdam: pag. 504 (rechts).
 Roger Ressmeyer/ABC press, Amsterdam: pag. 505 (onder).

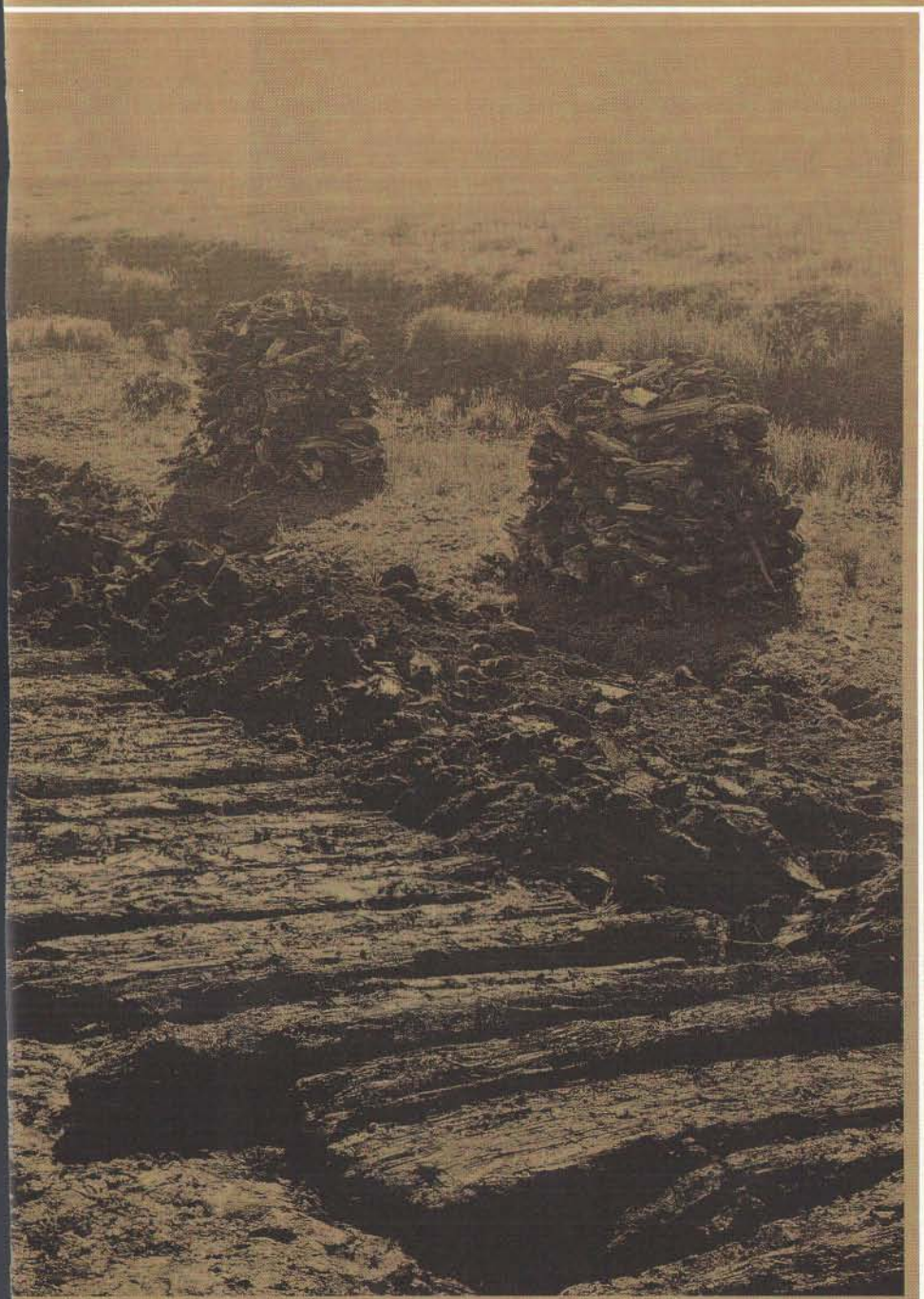
HOUTEN VEENWEGEN

Prehistorisch vernuft?



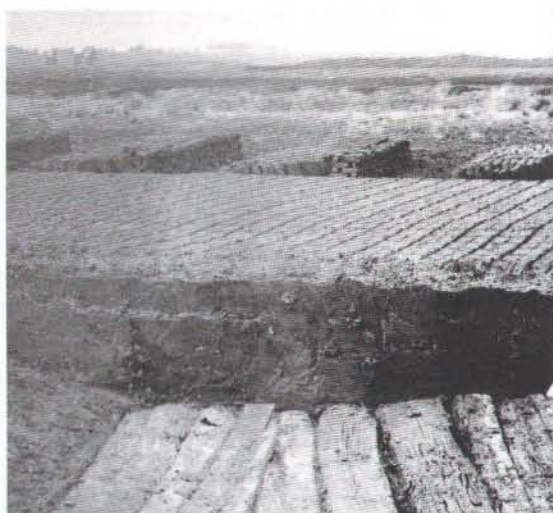
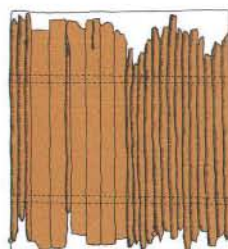
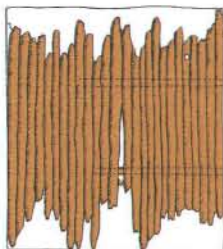
De aanleg van de 'Valtherbrug', een twaalf kilometer lange houten weg dwars door het Bourtangerveen in Drenthe, betekende een formidabele inspanning. De bouw, die op 350 voor Christus gedateerd kan worden, vergde tenminste 60 000 palen en planken. Hiervoor zijn vele duizenden, wellicht zo'n tienduizend, bomen gekapt. Berekeningen aan enkele prehistorische houten wegen geven aan dat per 1000 meter weglengte 517 wagenlasten hout gebruikt werden, die uit 42 hectare bos gewonnen konden worden. Voor de Valtherbrug was, uitgaande van die berekeningen, ongeveer 500 hectare bos nodig. Dat is een forse ontbossing, waarvan de invloed ook buiten het gekapte bos merkbaar moet zijn geweest, onder andere in de vorm van toenemende erosie. De investering in hout, energie en tijd zal door de prehistorische mens tegen het gestelde doel zijn afgewogen. Wat bewoog hem tot de bouw van veenwegen en hoe zagen die wegen er uit?

W.A. Casparie
Biologisch-Archaeologisch Instituut
Rijksuniversiteit Groningen



In de uitgestrekte venen tussen Westerwolde in Oost-Groningen en de zandgronden in Zuidoost-Drenthe werden in 1818 de resten opgegraven van een later als Valtherbrug bekend geworden houten weg. Het was een prehistorische verbindingsweg tussen twee door een breed veenmoeras gescheiden gebieden. Het wegdek was gemaakt van dwarsgelegde planken en rondhout (boomstammetjes) op een onderbouw van in de lengte gelegde boomstammetjes. De bijna drie meter brede weg was ingericht voor rijverkeer. Volgens de opgraver van 1818 hebben de bouwers zich nogal wat moeite getroost om een zo vlak mogelijk wegdek te realiseren. Men kende in die tijd reeds wagens met breukgevoelige spaakwielen.

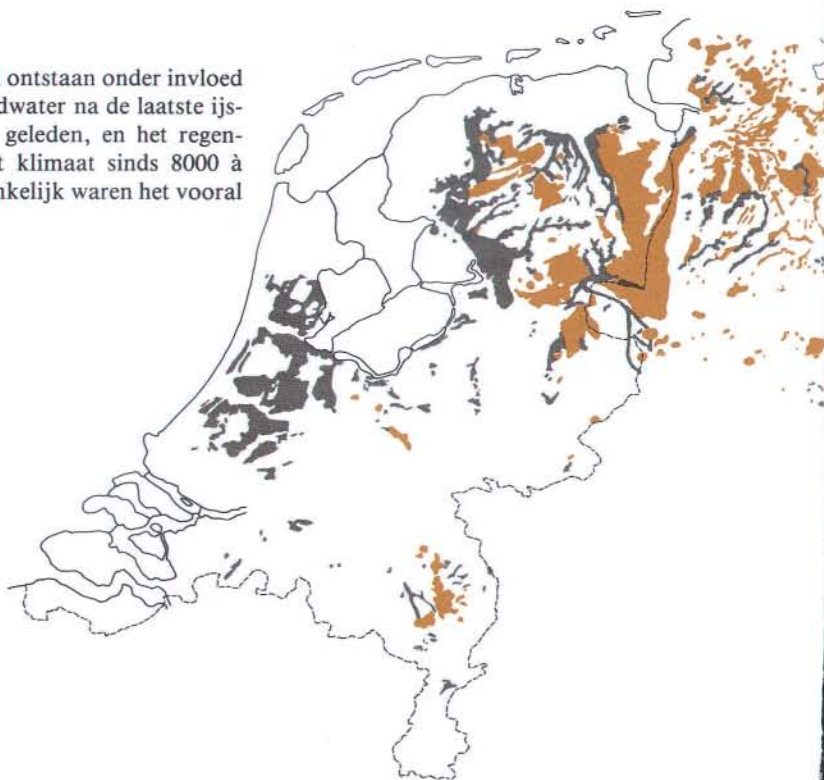
Zulke overblijfselen uit de oudheid, te voorschijn gekomen bij het turfgraven, wekten de verbazing van velen. Toen sinds het begin van de vorige eeuw nog meer houten wegen in verschillende venen werden aangetroffen, kwam geleidelijk het wetenschappelijk onderzoek naar verloop, bouw en functie op gang. Dat wil niet zeggen, dat thans alle aspecten van die wegenbouw geheel begrepen kunnen worden. Wel is duidelijk, dat de veenondergrond de bouwers veel problemen opleverde.

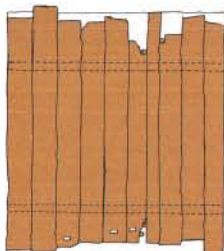


Het oprukkende veen

De venen zijn vooral ontstaan onder invloed van het stijgende grondwater na de laatste ijstijd, circa 15000 jaar geleden, en het regenvrijer worden van het klimaat sinds 8000 à 6000 voor Chr. Aanvankelijk waren het vooral

Rechts: Fig. 1. De dreiging van het veen in Nederland en aangrenzend Duitsland. Laagveen is hier in grijs weergegeven, en hoogveen is in kleur afgebeeld. Het hoogveen is tegenwoordig vrijwel geheel verdwenen. Het grote veengebied in Noordoost-Nederland/Duitsland is het Bourtangerveen.





Beelden van drie opgravingen van de Valtherbrug. Op de foto onder die van 1936 onder leiding van prof. dr. A.E. van Giffen. De foto links ervan toont G.J. Landweer Jz. tijdens zijn opgravingen in 1892 nabij Ter Apel. De drie tekeningen zijn een resultaat van de oudste

opgraving, in 1818, door J.W. Karsten. Die eerste opgraving vond plaats voor het tijdperk van de fotografie begon. De resultaten van de latere opgravingen zijn uiteraard, volgens goed archeologisch gebruik, ook uitgebreid in tekeningen vastgelegd. De Valtherbrug was een

ongeveer 12 km lange veenweg tussen Valthe in Drenthe en Ter Apel in Groningen.



moerasveenafzettingen in vlakke rivier- en beekdalen, en andere laagten in het landschap met stagnerende waterafvoer. Vanaf ongeveer 5000 voor Chr. begon op veel plekken hoogveenvorming; niet alleen op moerasveenafzettingen maar ook op zandgronden en zelfs op keileem en klei.

Reeds de prehistorische mens werd met dit oprukkende veen geconfronteerd. Het landschap werd niet alleen in hoge mate gecompartimenteerd, het bewoonbare areaal werd ook aanzienlijk verkleind. Uiteindelijk was bijvoorbeeld in Noordoost-Nederland meer dan 50 procent van het land onder veen verdwenen (fig. 1). De vaak kilometers brede, slecht begaanbare veenbarrières maakten het landschap in hoge mate ontoegankelijk. Dit zal vooral na de introductie van de wagen, tussen 2500 en 2300 voor Chr., nog sterker zijn gaan spelen.

De houten veenwegen zijn bedoeld om de draagkracht van het veenoppervlak zodanig te vergroten, dat het zonder veel ongerief be-

gaanbaar of berijdbaar is, ook onder ongunstige omstandigheden. De houten veenwegen werden na zekere tijd door het omhooggroeiende veen overwoekerd. Ze werden hierdoor onbruikbaar, maar tevens door het veen geconserveerd.

Onvoltooide wegen?

Veel veenwegen overbruggen niet het gehele veen. Er is wel eens verondersteld, dat de bouwers zich op het probleem hebben verkeken en dat ze de aanleg van de weg voortijdig staakten. Gezien het veelvuldig voorkomen van dergelijke 'onvoltooide' wegen in bepaalde veengebieden, lijkt ons dit in de meeste gevallen geen reële verklaring; de opeenvolgende generaties van wegenbouwers zouden dan immers herhaaldelijk hun bouwcapaciteiten en de typische kenmerken van het veenoppervlak verkeerd beoordeeld hebben. Zulke wegen en paden waren vrij zeker bedoeld om iets in het

veen te bereiken, waarvan niet altijd achterhaald kan worden wat het was. In een aantal gevallen betrof het ijzererts; deze zeer aantrekkelijke grondstof komt hier en daar in het veen voor. Deze 'onvoltooide' wegen en paden zijn geen verkeerswegen in strikte zin, maar ze geven wel informatie over de prehistorische wegenbouwproblematiek.

Constructie der houten veenwegen

Houten wegen en paden hebben gewoonlijk een onderbouw of fundering, en een wegdek. Soms is er nog een afdeklaag van plaggen aanwezig. Deze bouwelementen zijn horizontaal gerangschikt. Verticaal in het veen geslagen pennen dienden om de weg tegen wegglijden te behoeden of om de weg aan het veen te ver-

ankeren. De grote verschillen in bouwwijze van wegen en paden (zie fig. 2) tonen ons het vermogen van de prehistorische mens om voor de ontoegankelijkheid van het veen een groot aantal oplossingen te bedenken.

Onderbouw en wegdek zijn gewoonlijk van planken of rondhout gemaakt: soms is het rondhout gekloofd. Ook vlechtmaten kunnen als wegdek zijn gebruikt. Als fundering dienden soms takkebossen. De wegdekelementen liggen over het algemeen aaneengesloten, ordelijk gerangschikt. De onderbouwelementen liggen bijna altijd haaks op de richting van de wegdekelementen, zoals ook de Valtherbrug toont. Ze zijn meestal minder regelmatig gerangschikt. Oneffenheden in het wegdek werden vaak met behulp van steunhoutjes of door het bijkappen van de planken weggewerkt.

Veen

Veen is het afgestorven, maar niet vergane restant van vroegere vegetaties, die over het algemeen in zeer waterrijk milieu hebben geleefd en juist door die waterrijkdom gedeeltelijk bewaard bleven. Op de afgestorven plantenresten vestigen zich weer nieuwe planten, vaak dezelfde vegetaties, die uiteindelijk ook maar gedeeltelijk vertoren. Zo konden, in de loop van duizenden jaren, meters dikke lagen ontstaan. Veen ontstaat door de afsluitende werking van het water, waardoor de luchtzuurstof niet tot de afgestorven plantenresten kan doordringen.

Situaties, die gunstig zijn voor veenvorming, ontstaan vooral in lage, natte delen van het landschap. De afgestorven resten van moeras- en waterplanten vullen geleidelijk de natte laagte op tot de hoogste grondwaterstand bereikt is. Deze accumulatie van organisch materiaal in een grondwatermilieu noemen we verlanding. Het gevormde produkt heet laagveen of moerasveen.

Een belangrijke veenvormer in ons gematigde, tamelijk vochtige klimaat is het veenmos (*Sphagnum*). Dit kleine plantje heeft voor zijn groei genoeg aan de neerslag. De veenmosplanten groeien aan de bovenzijde ieder jaar aan. Ze sterven aan de onderzijde af, maar ze behouden hierbij



Links: De heer E. Ensink, beheersmedewerker van het staatsnatuurreservaat Bargerveen bij een veenprofiel uit het zuidelijk deel van het Bourtangerveen. Het veen is door ontwatering sterk ingeklonken. De veenvorming begon hier ongeveer 5000 jaar voor Chr. Eerst ontstond moerasveen, sinds 4000 v. Chr. was er hoogveen-
vorming.

Rechts: *Sphagnum* of veenmos is de belangrijkste hoogveen-
vormer in ons gematigde klimaat.



De veenweg bij Nieuw-Dordrecht tijdens de opgravingen in 1981.

het vermogen het neerslagwater lange tijd vast te houden. Zo bouwt het veen een grote watervoorraad op, die de veenmosplanten de mogelijkheid geeft perioden zonder neerslag te overleven, en die de vertering van het veen verhindert. Zulke venen heten hoogvenen. Ze groeien omhoog en vormen daarbij een eigen waterspiegel, die boven de grondwaterspiegel van de omgeving uit kan komen. Hoogveen is daarom een uitstekend conserveringsmiddel, mede omdat het zeer zure milieu (pH vaak lager dan 3,8) de biologische activiteit in het water afremt. Hoogveen bestaat voor 85 à 97 procent uit water, voor het overige uiteraard uit organisch materiaal



Op het hoogveen komen diverse andere planten voor, die hun leefwijze hebben aangepast aan de typische hoogveengroei, zoals struikheide, dopheide, lavendelheide, wollegras, witte snavelbies en zonnedaauw.

Veenoppervlakken vertonen nat-droog patronen. Drogere plekken met overwegend heidegroei en wollegras, bulten genaamd, steken als lage eilandjes boven het veenmostapijt uit. De ertussen liggende slenken met veenmos hebben een zeer slappe bodem, die bijna geen weerstand tegen belasting biedt. Bulten zijn rond tot ovaal, ze meten 3 tot 6 m en steken meestal zo'n 10 cm boven de slenken uit. De slenken vormen tezamen het afwateringsnetwerk. Ze bevatten vaak open water, vooral in najaar en winter. Slenkbreedtes variëren van minder dan een meter tot meer dan 10 m. Het hoogveenoppervlak bestaat gewoonlijk voor 70 tot 80 procent uit slenken.

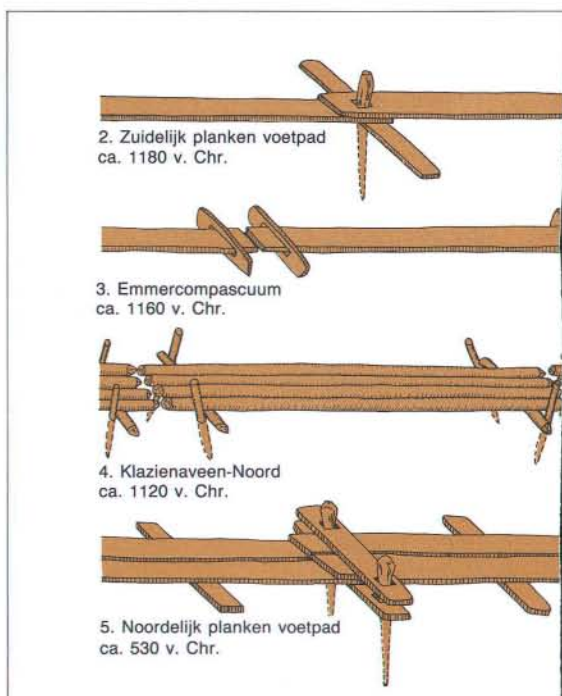
Het draagvermogen van veen is vooral afhankelijk van het watergehalte; het natste veen is het slapste veen. De bult-slenkpatronen kenmerken zich door grote verschillen in het draagvermogen van het veenoppervlak op zeer korte afstand.

Bij ontwatering van het veen, door het graven van greppels en kanalen bijvoorbeeld, ontstaat een sterke inklinking van vaak meer dan 50 procent. De hoogveenvorming komt hierbij geheel tot stilstand. Ongestoorde hoogvenen zijn in Nederland niet meer aanwezig; hoogveenvorming is een zeer zeldzaam proces geworden.

Hoe groter het dragende vlak van de weg, des te groter is ook de stabiliteit. Het gebruik van veel hout om voldoende stabiliteit te verkrijgen, is uit den boze. Zelfs houten constructies zijn al gauw te zwaar om door het veen gedragen te kunnen worden. Grote stabiliteit kan weliswaar verkregen worden door wegdek-elementen en onderbouw aan elkaar te spijkeren, maar het gebruik van houten of metalen spijkers bij veenwegen is niet bekend. Starre constructies met een zeer groot dragend oppervlak waren in de prehistorische tijd technisch wellicht mogelijk. Het gebruik hiervan levert bij wegenbouw op veen echter essentiële problemen op, mede door de 'Mooratmung' (de sponswerking van veen) en de grote variaties van het draagvermogen van het veenoppervlak.

Bouwelementen

Bij het vervaardigen van de bouwelementen werden de gekapte bomen optimaal benut; er ging nauwelijks hout verloren. Boomstammen met diktes van 20 cm en meer werden zowel dwars doorgehakt als in de lengte gekloofd. Zo leverde één boomstam drie of vier wegdek-elementen. Planken, meestal zo'n 30 cm breed, werden uit boomstammen van 40 cm diameter gekloofd. Het belangrijkste gereedschap was de bijl; gezaagde planken zijn nimmer aangetroffen. Soms moesten de planken nog wat bijgewerkt worden. Voor de eiken loopplanken van de voetpaden 2 en 5 (zie voor nummers fig. II-1) is kernhout gebruikt; dwarsliggers en pennen werden van het wat zachtere spinthout gemaakt. Voor de horden (vlechtmaten) van weg 8 waren grote aantallen wilgetakken nodig; de makers beschikten ongetwijfeld over uitgebreide wilgengrienden, die elke drie tot vijf jaar werden gesnoeid. Het vlecht hout had daarbij een lengte van 2,5 à 5 m. De prehistorische horden zijn op exact dezelfde wijze vervaardigd als de horden, die ook thans nog worden gemaakt. (zie foto's rechterpagina). Veel teruggevonden wegen vertonen nauwelijks slijtage. De beweging van hout over hout (wielen over wegdek) laat, vooral bij een verend wegdek, bijna geen sporen achter. De gebruiksbeschadiging treedt niet op aan het hout maar aan het onderliggende veen; dit materiaal wordt platgeperst en verliest daardoor zijn structuur.



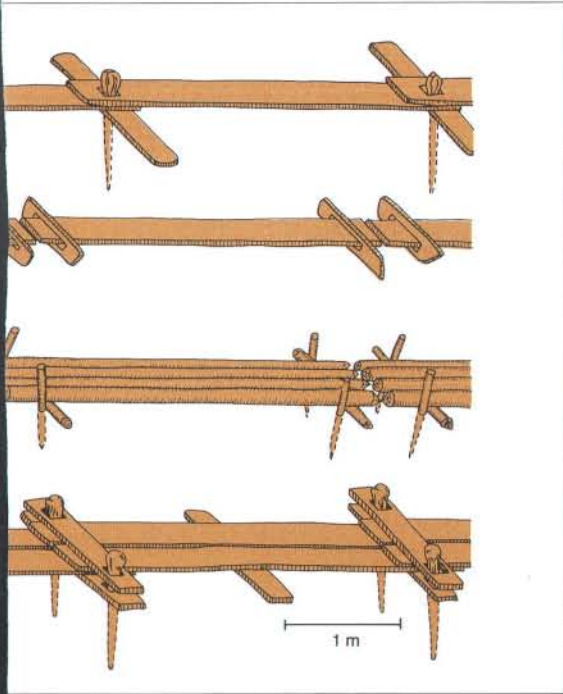
Geheel boven: Fig. 2. De bouw wijze van vier Zuidoost-drentse voetpaden. De nummering komt overeen met die in fig. II-1.

Boven: Een plank van het 'noordelijk planken voetpad' die met een ijzeren bijl in vorm is gebracht. De planken zijn 23 tot 27 cm breed.

Rechtsboven: Een plank van het 'zuidelijk planken voetpad' waarop kasporen met een bronzen bijl te zien zijn.

Rechts: Het horden vlechtten was kort na de Tweede Wereldoorlog nog algemeen gebruikelijk in de griendgebieden. Hier in 1949 te Culemborg.

Geheel rechts: De hordenweg bij Emmerschans.



0 10 20 cm



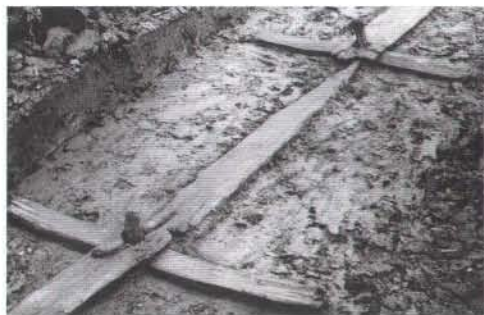
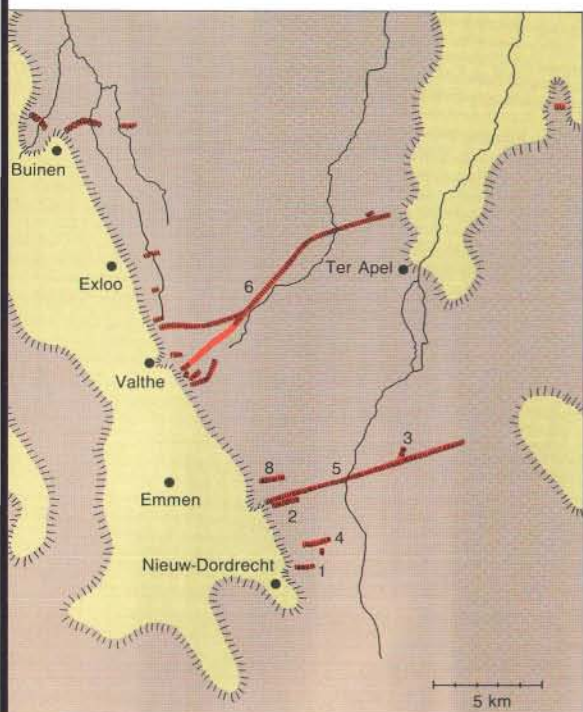
Talrijke houten veenwegen

Sinds 1818 zijn met name in de Europese veengebieden enkele honderden houten wegen en paden ontdekt, die voor een deel nader zijn onderzocht. De Oldenburgse veenarcheoloog Dr. H. Hayen bestudeert de vele wegen en paden die in de veenrijke laagvlakte van Noord-west-Duitsland tevoorschijn zijn gekomen, in samenhang met de ontwikkeling van wiel en wagen. Dr. J.M. Coles uit Cambridge leidt het onderzoek naar de tientallen houten wegen en paden in het Zuidwestengelse veengebied Somerset Levels.

Uit Nederland zijn ongeveer 40 (prehistorische) veenwegen bekend. Ze liggen vooral in Noord-Nederland. Tien stuks zijn uitgebreid onderzocht door het Biologisch-Archaeologisch Instituut te Groningen; in fig. 3 is de verspreiding van Zuidoostdrentse veenwegen gegeven. Het merendeel hiervan komt verderop nog ter sprake. Van drie prehistorische wegen zijn nog resten als archeologisch monument aanwezig; alle andere wegen zijn bij het turfgraven opgeruimd. Uit de Peelvenen, ons zuidelijkste hoogveengebied, zijn geen houten wegen bekend.

Ook in België zijn geen veenwegen aangetroffen; in het laagland ontbreken hoogvenen. In de Ardennen komen wel venen voor (Hautes Fagnes), maar deze zijn van geringe omvang. Het waren in prehistorische tijd geen landschappelijke barrières.





Geheel boven: Fig. 3. Verspreiding van de veenwegen in het Zuidoostdrentse deel van het Bourgtanger veen. De nummering is van oud naar jong: 1. Nieuw-Dordrecht; 2. 'zuidelijk planken voetpad'; 3. Emmercompasuum; 4. Klazienaveen-Noord; 5. 'noordelijk planken voetpad'; 6. Valthersbrug; 8. hordenweg Emmerschans. Nummer 7 is de weg bij Smilde en niet op deze kaart te vinden, wel in het ouderdomsoverzicht in Intermezzo II.

Rechtsboven: Het 'noordelijk planken voetpad' was een geriefelijk en stabiel pad.

Boven: Het 'zuidelijk planken voetpad' was smal maar stabiel met brede dwarsliggers.

Rechts: De veenweg bij Smilde zoals hij door de opgravers onder handen werd genomen.



Enkele Nederlandse voorbeelden

Wegen

De neolithische veenweg van Nieuw-Dordrecht (ca. 2120 voor Chr., foto pag. 513) heeft een zeer onregelmatig wegdek, gemaakt van dwarsgelegd rondhout, dat met behulp van plankjes geëffend is. De weg was kennelijk bedoeld om over te rijden. Slechts een stukje van de weg heeft een onderbouw. Voor een bouwwijze zonder fundering was het veen op die plaats veel te slap. De weg is aangelegd vanaf een kleine zandrug van ongeveer 250 ha. Het bos daar, door eerdere ontginningen al sterk aangetast, kon onmogelijk voldoende hout leveren voor een 12 km lange weg, bedoeld om de overkant van het veen te bereiken. In het veen was niets te vinden, wat het gebruik van wagens zou vergen. Het is niet duidelijk, waarom deze weg is aangelegd.

De Valtherbrug (ca. 350 voor Chr., foto's pag. 508-511) uit de IJzertijd, zal ondanks de zorg die aan het wegdek is besteed, geen comfortabele verbinding over het brede veen zijn geweest. Vooral het westelijk deel heeft een

wegdek van rondhout met zulke grote diameters (tot meer dan 25 cm), dat het berijden ervan uiterst onaangenaam moet zijn geweest.

De 280 m lange weg in het randgebied van de Smilderven (ca. 220 voor Chr.) was onderdeel van een 9 km lange route over zandruggen. Hij diende om een veenlaagte te overbruggen. Hij is gemaakt van ongeveer 3 m lange elzen van slechte kwaliteit. De afdekking met heideplaggen zorgde voor een behoorlijk rijcomfort. De weg is slechts korte tijd bruikbaar geweest; het veenrandgebied werd in die tijd snel natter; dit proces was vermoedelijk reeds vóór de wegaanleg op gang gekomen.

De hordenweg van Emmerschans (ca. 170 voor Chr., foto pag. 515) heeft een heel eenvoudige bouwwijze: op een los raamwerk van stammetjes van 8 tot 12 cm dikte liggen vlecht-matten van 2,80 bij 1,40 m; in dwarse richting of steeds twee naast elkaar. De weg was breed genoeg om over te rijden, maar is daar waarschijnlijk niet voor gebruikt. Het wegdek is erg verend en het draagvermogen van de horden is beperkt. De weg leidde naar een plek met ijzer-oer in het veen. De levensduur van horden is beperkt; de weg is hoogstens enkele jaren in gebruik geweest.

Voetpaden

Drie van de vier voetpaden uit het Zuidoost-drentse veengebied dateren uit de Bronstijd. De onderlinge tijdsverschillen zijn gering; de constructieverschillen echter opvallend (fig. 2).

Het 'zuidelijk planken voetpad' (ca. 1180 voor Chr.) en de 'schalmenweg' van Emmercompascuum (ca. 1160 voor Chr.) hebben beide een loopbreedte van 25 tot 30 cm. De stabiliteit van het eerste pad is groot; die van het tweede uitermate slecht. Een zwak punt in beide constructies is het lage looppniveau: slechts enkele centimeters (de dikte van de loopplan-ken) boven het veenoppervlak. Waar het veen erg nat was, voldeden deze bouwwijzen niet en waren aanpassingen nodig.

Het voetpad van Klazienaveen-Noord (ca. 1120 voor Chr.) met zijn loopbreedte van ruim 50 cm, was zeer stabiel. Het looppniveau was 10 tot 15 cm boven het veenoppervlak. Het pad is weinig comfortabel: lopen over in de lengte ge-legd rondhout is moeilijk.

Geen van deze drie paden overbrugde het gehele veen. Het eerste en derde pad, het ande-



Dateringen

De meest gebruikte wijze van dateren is de ¹⁴C-methode (radioactief-koolstofdatering). Hierbij wordt uitgegaan van het verval in de (minimale) radioactiviteit van de koolstofverbindingen in organismen, vanaf het moment dat de koolstofopname stopt, dus als het leven eindigt. Bij bomen is dat het moment van omhakken; een ¹⁴C-datering geeft dus het kapjaar aan. De ouderdom kan niet tot op het jaar precies worden aangegeven, mede omdat aan de meetresultaten enige statistische onzekerheden kleven. De ¹⁴C-ouderdom wordt daarom altijd binnen bepaalde grenzen gegeven. De Valththerbrug is gemeten op 345 ± 50 voor Chr. Dit vertalen wij hier in plusminus 350 voor Chr. In figuur II-1 zijn de dateringsresultaten van de Nederlandse veenwegen gegeven, uitgedrukt in jaren B.C. (before Christ). Van enkele wegen zijn meer dateringen beschikbaar; wij houden hier het gemiddelde van die dateringen aan.

De dateringen van de Engelse en Duitse veenwegen stemmen met dit beeld overeen. Zowel in het Neolithicum (=de Nieuwe Steentijd; ca. 3500-1700 voor Chr.), als in de Bronstijd (1700-700 voor Chr.) en de IJzertijd (700 voor - 400 na Chr.) zijn houten wegen over het veen aangelegd. De namen van deze perioden staan voor het materiaal, waarvan men bijlen, messen enz. vervaardigde.

De dendrochronologische methode kan een uiterst scherpe datering geven; soms tot op het jaar nauwkeurig. Bij deze methode wordt de dik-

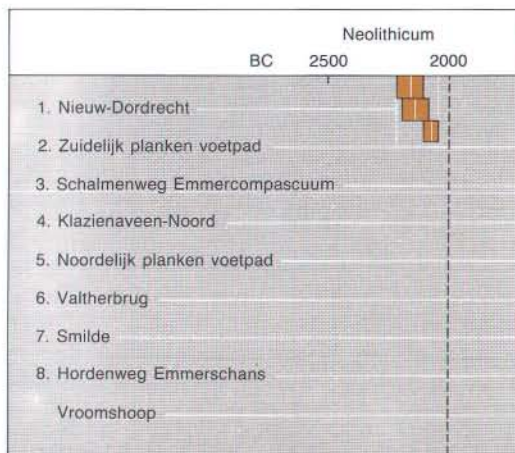


Boven: Enkele bronzen bijlen uit Zuidoost-Drenthe van het type, zoals ze voor de bouw van het 'zuidelijk planken voetpad', de schalmenweg van Emmercompascuum en het voetpad van Klazienaveen-Noord zijn gebruikt. Lengtes 16, 13 en 14 cm. IJzer blijft in de Nederlandse bodem niet bewaard; het gereedschap van de bouwers van de IJzertijdwegen en -paden kan daarom niet getoond worden.

Onder: Fig. II-1. ¹⁴C-dateringen van Nederlandse veenwegen. Alleen de genummerde veenwegen worden nader besproken in dit artikel. Met uitzondering van no. 7 (Smilde), liggen ze alle in het Bourtangerveen. De wegen en paden zijn aangeduid met de in de veenarcheologie gebruikelijke namen.



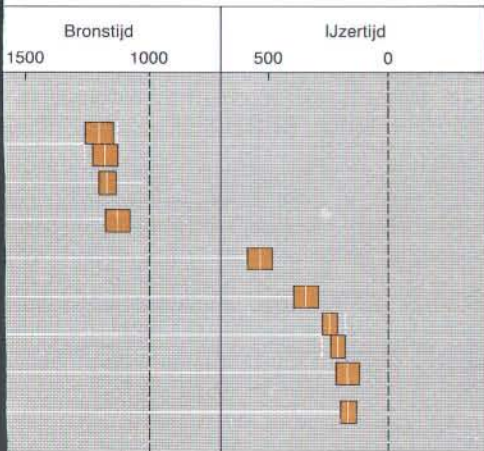
Links: Enkele stenen bijlen uit Zuidoost-Drenthe van het type, zoals ze voor de bouw van de veenweg van Nieuw-Dordrecht zijn gebruikt. Lengtes 8, 10 en 13,5 cm.



te van de jaarringen van hout (de jaarlijkse groei van de boom) gemeten. Die groei wordt voor een groot deel bepaald door klimaat-omstandigheden. Bomen uit één bos, vaak ook uit een groter gebied, vertonen meestal dezelfde groeitrend. De curve met de jaar-ringdiktes van een boom laat zich goed correleren met die van bomen uit hetzelfde gebied, die in dezelfde periode groeiden. Zo'n 'relatieve chronologie' kan soms weer gekoppeld worden aan een andere relatieve chronologie als er sprake is van overlap in de tijd. We beschikken nu over een aantal absolute chronologieën; van elke jaarring is precies bekend in welk jaar hij gevormd is. Er is thans een Middeneuropese eikejaarringkalender beschikbaar, die vanaf ca. 2000 voor Chr. loopt.

De methode kan tot nu toe alleen voor eikehouten objecten gebruikt worden. Ook hier zijn enige statistische onzekerheden in het geding; het lukt lang niet altijd een datering te verkrijgen.

De dendrochronologie heeft in het bijzonder bij het Duitse en Engelse veenwegen-onderzoek reeds tot verbluffende resultaten geleid. Het Nederlandse 'zuidelijk planken voetpad' kon gekoppeld worden aan de Westduitse absolute tijdschaal van Hayen's veenwegen. Het pad is tussen 1345 en 1350 voor Chr. aangelegd. Op basis hiervan blijken de ¹⁴C-dateringen van omstreeks 1200 voor Chr. 150 à 200 jaar te jong uit te vallen.



re pad mogelijk ook, waren bedoeld voor het transport van moerasijzererts. Ze horen bij de oudste plaats benoorden de Alpen waarvan met zekerheid te zeggen valt dat er ijzerbereiding heeft plaatsgevonden.

Het 'noordelijk planken voetpad' (ca. 530 voor Chr., foto pag. 516) uit de IJzertijd overbrugde vermoedelijk het gehele veen. De loopbreedte was ongeveer 50 cm; het pad was zeer stabiel en behoorlijk comfortabel. Het probleem van de wat doorzakkende loopplanken werd door het gebruik van extra dwarsliggers opgelost. In een zeer nat deel van het veen vertoonde het pad een wat zwaardere bouwwijze. Nadat door enorme erosie (een zogenaamde Moorausbruch) grote delen van het pad waren weggespoeld, is het door de toenmalige gebruikers over een lengte van meer dan 2 km afgebroken. De loopplanken werden hierbij weggehaald of verticaal in het veen geslagen. Herstel was kennelijk niet zinvol. De afbraak moet overigens reeds kort na de aanleg van het pad hebben plaatsgevonden.

De landschappelijke situatie dwong de prehistorische mens als het ware om wegen in het veen aan te leggen; de behoefte aan communicatie en het exploiteren van nieuwe hulpbronnen waren vaak een belangrijke prikkel. Bij alle constructieve en technologische kennis kregen de bouwers één probleem niet onder de knie: ze konden de veengroei niet stoppen. Op veel plaatsen veroorzaakten ze juist versnelde veengroei. Zelfs de lichtste houtconstructies drukken een veenoppervlak nog wel wat in. Zo'n extra natte plek is vaak een uitstekende basis voor snelgroeiende veenmossen.

Literatuur

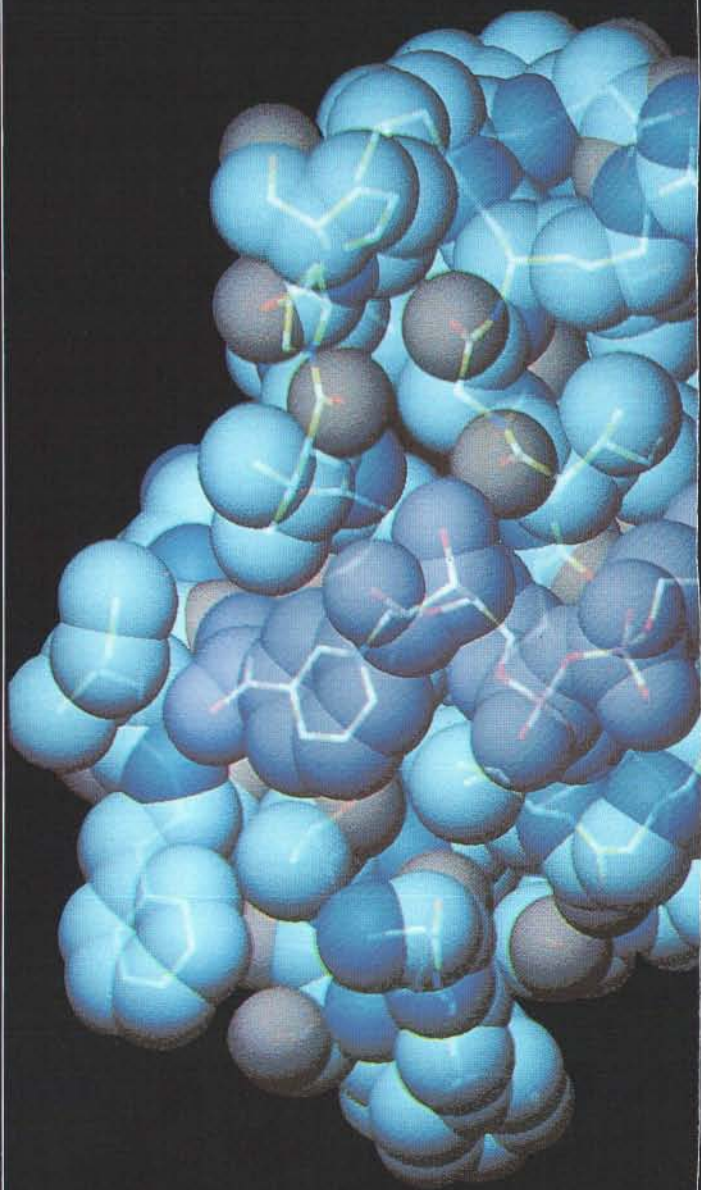
- Casparie, W.A., 1982 (1985). *The Neolithic wooden trackway XXI (Bou) in the raised bog at Nieuw-Dordrecht (the Netherlands)*. *Palaeohistoria* 24.
- Casparie, W.A., 1984, (1986). *The three Middle Bronze Age footpaths XVI (Bou), XVII (Bou) and XVIII (Bou) in the raised bog of Southeast-Drenthe (the Netherlands)*. *Palaeohistoria* 26.
- Casparie, W.A., 1986 (1987). *The two Iron Age trackways XIV (Bou) and XV (Bou) in the raised bog of Southeast-Drenthe (the Netherlands)*. *Palaeohistoria* 28.
- Casparie, W.A., 1985. *De twee IJzertijd houten veenwegen I (Sm) en II (Sm) bij de Suermondswijk te Smilde*. *Nieuw-Drentse Volksalmanak* 102.

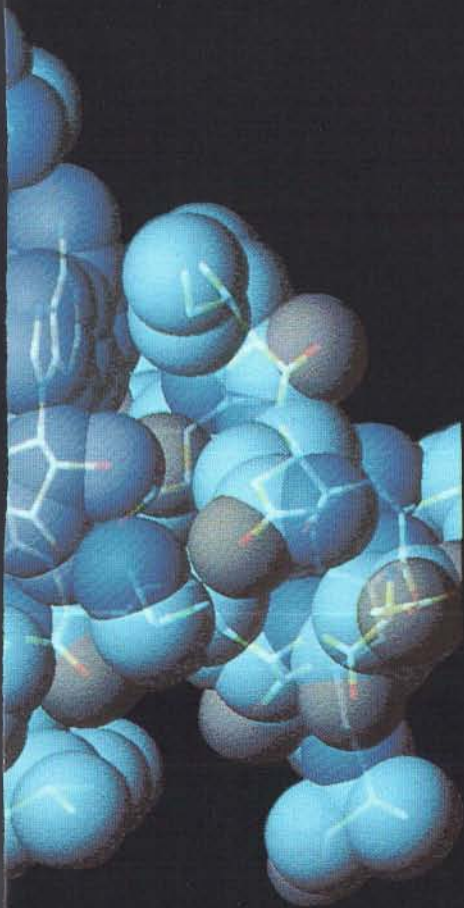
Bronvermeldings illustraties

De foto op pag. 151 linksonder is genomen door ir. W.D.J. Tuinzing. Het Provinciaal Museum van Drenthe in Assen leverde de foto's bij Intermezzo II. Alle overige illustraties zijn afkomstig van het Biologisch Archaeologisch Instituut te Groningen.

V.V.A.M. Schreurs
H.A. Boekholt
*Landbouwhogeschool
Wageningen*

Het enzym alcoholdehydrogenase zet in de lever alcohol om in acetaldehyde. Deze door een computer gemaakte afbeelding van het enzym toont duidelijk de ingewikkelde structuur van dit eiwit. De paarse bollen zijn een afbeelding van het coënzym NAD, dat onmisbaar is voor de enzymfunctie. Veel leverenzymen kunnen snel worden aangemaakt als daar behoefte aan is. De eiwitturnover zorgt ervoor dat er altijd voldoende aminozuren voor aanwezig zijn.





EIWITTURNOVER

Schakel tussen voeding en gezondheid

Eiwit is vooral bekend als noodzakelijk bestanddeel van de voeding. Naast melk zijn er echter nauwelijks producten die van nature een echte voedingsfunctie hebben. Eiwitten uit vlees en vis bijvoorbeeld fungeren wel als voedingseiwit, maar hebben van oorsprong een functie als spiereiwit. Ons lichaam bestaat voor bijna 20 procent uit eiwitten. Een groot deel daarvan is structureel ingebouwd in weefsels, vooral in spierweefsel. Daarnaast zijn er onder andere enzymen die de vele biochemische omzettingen katalyseren. Bij al deze eiwitten is sprake van een voortdurende opbouw en afbraak, men noemt dit eiwitturnover. Deze dient in de eerste plaats voor het onderhoud van de in het lichaam aanwezige eiwitten. De turnover is echter ook een mechanisme waarmee het lichaam zich aanpast aan veranderende omstandigheden.

Eiwitten zijn nauw verbonden met alle vormen van leven. Zij zijn onontbeerlijk voor het in stand houden van lichaamsprocessen. In feite bepalen de aanwezige eiwitten waartoe ons lichaam in staat is. Dat geldt niet alleen voor fysieke prestaties (een krachtsporter heeft veel spiereiwit), maar ook voor alle andere activiteiten van het lichaam (een goede ziekteresistentie bij een goed werkend immuunsysteem).

Ofschoon de in de natuur voorkomende eiwitten veel verschillende functies vervullen, komt hun bouw juist sterk overeen. Dit verklaart waarom de mens zowel plantaardige als dierlijke eiwitten kan eten om in zijn behoefte te voorzien. Ons lichaam is namelijk in staat voedingseiwitten om te bouwen tot 'eigen' eiwitten. Deze ombouw is mogelijk doordat alle eiwitten zijn opgebouwd uit een beperkt pakket bouwstenen: zo'n twintig verschillende aminozuren. De volgorde van die aminozuren bepaalt de eigenschappen van het eiwit, zoals ook de volgorde van de letters de aard van een woord bepaalt. Eiwitten zijn vaak zeer complex, honderd tot duizend aminozuren is niet uitzonderlijk. Het ombouwen van voedingseiwit tot lichaamseiwit bestaat uit het hergroeperen van de aminozuren.

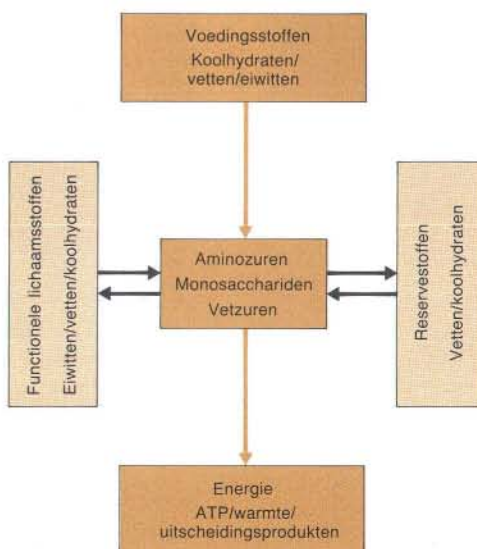
Eiwit is een noodzakelijk bestanddeel van onze voeding (tabel 1). Bij de benutting van het voedsel worden macromoleculaire voedingsstoffen (eiwitten, koolhydraten en vetten) in het maagdarmkanaal afgebroken tot hun elementaire bouwstenen (aminozuren, monosacchariden en vetzuren). In de cellen van het lichaam wordt de benutting voortgezet. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de specifieke chemische eigenschappen van de elementaire bouwstenen voor de vorming van functionele lichaamsstoffen of van de erin opgeslagen energie voor de vorming van ATP of reservestoffen. Het verloop van de omzettingen wordt door fysiologische regulering afgestemd op de behoefte van het lichaam.

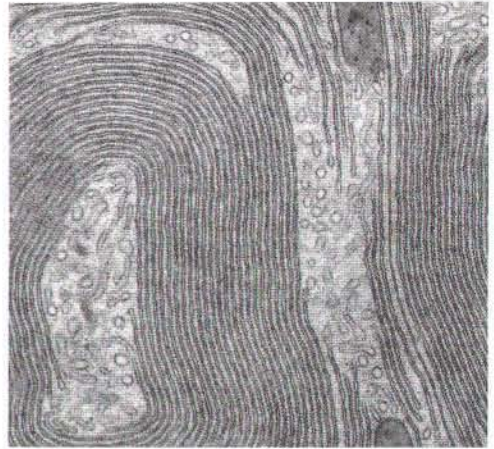
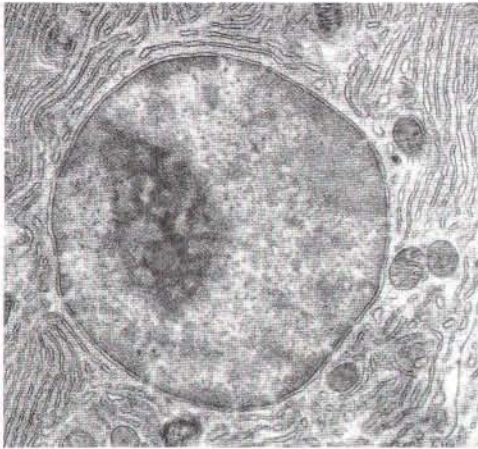
Het eiwitbestand van het lichaam vormt een dynamisch geheel dat door *eiwitturnover* voortdurend vernieuwd wordt in een samenspel van opbouw en afbraak. Hierbij gaan aminozuren verloren, die door eiwit uit de voeding moeten worden aangevuld. De eiwitbehoefte van het lichaam is dus in feite een aminozuurbefoefte. Bij de mens wordt de dage-

TABEL 1. Energiehoudende voedingsstoffen

Totale energie-opname ca. 10000 kJ/dag			
	Percentage kJ-gram ⁻¹ Gram-dag ⁻¹ van de energie		
Eiwitten	10 - 15	17	60 - 90
Koolhydraten	40 - 50	17	250 - 300
Vetten	30 - 40	38	80 - 100

lijkse behoefte (ca. 70 gram) overtroffen door de dagelijks gesynthetiseerde hoeveelheid eiwit (ca. 350 gram). Het merendeel van de aminozuren die nodig zijn voor de synthese van lichaamseiwit komt beschikbaar door een gelijktijdige afbraak van lichaamseiwit. Ongeveer 80 procent van de gesynthetiseerde eiwitten wordt gevormd door 'hergebruik' van aminozuren. Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid energie die het lichaam dagelijks verbruikt voor de turnover van eiwit bekijken we de betrokken processen nog eens nader.





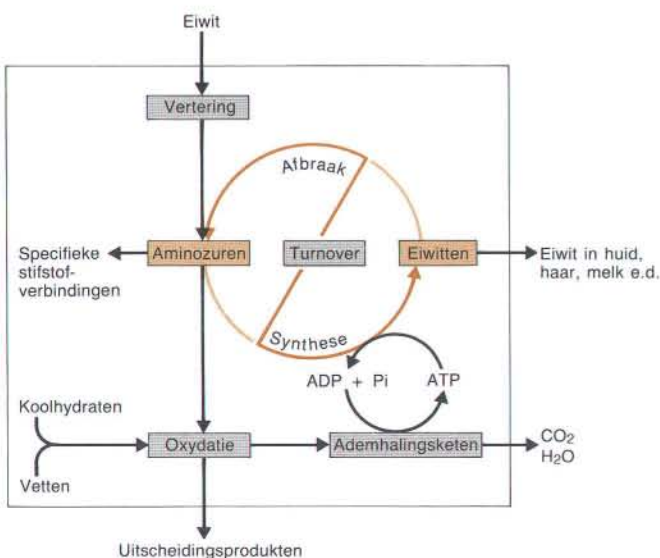
Eiwitsynthese en eiwitafbraak

Ofschoon het DNA van iedere kern de informatie bevat van alle lichaamseiwitten, maakt een bepaalde cel slechts de voor die cel karakteristieke eiwitten. De aard en lokalisatie van de bij de eiwitsynthese betrokken processen worden samengevat in figuur 3.

De voor de synthese benodigde aminozuren komen vooral beschikbaar door afbraak van eiwitten. Deze afbraak komt in de cel tot stand onder invloed van eiwitplitsende enzymen in

de lysosomen. Na afbraak van het eiwit diffunderen de aminozuren uit het lysosoom en komen vrij voor onder andere eiwitsynthese.

Voor de berekening van de energiekosten van de eiwitsynthese gaan we uit van een cel waarin voldoende bouwstenen (nucleosidetriphosphaten en aminozuren) aanwezig zijn. De vorming van een eiwitketen komt tot stand in twee stappen; de *transcriptie* (kern: DNA → mRNA) en de *translatie* (cytoplasma: mRNA → eiwit). Voor een berekening van de energiekosten is het belang na te gaan of deze worden



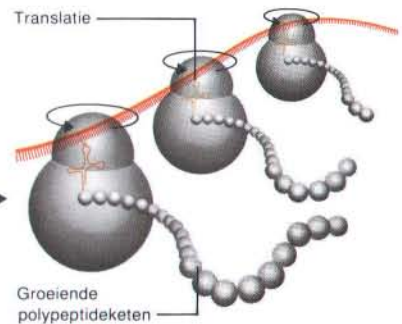
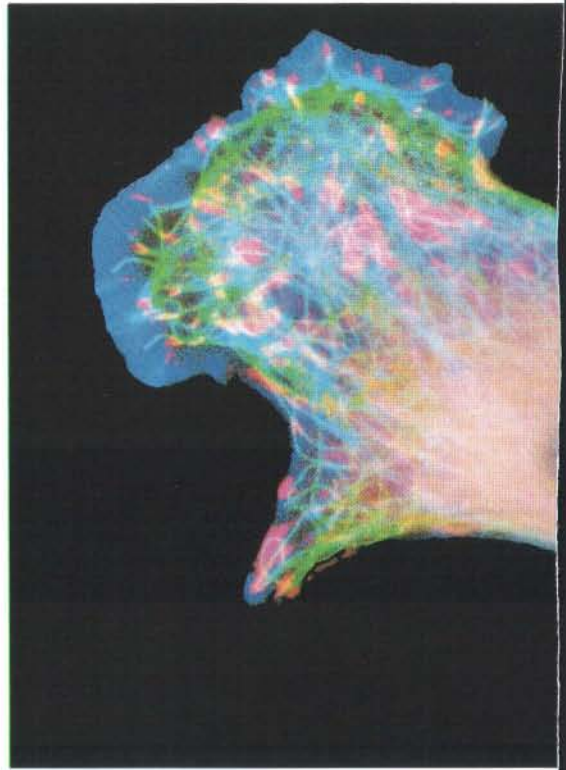
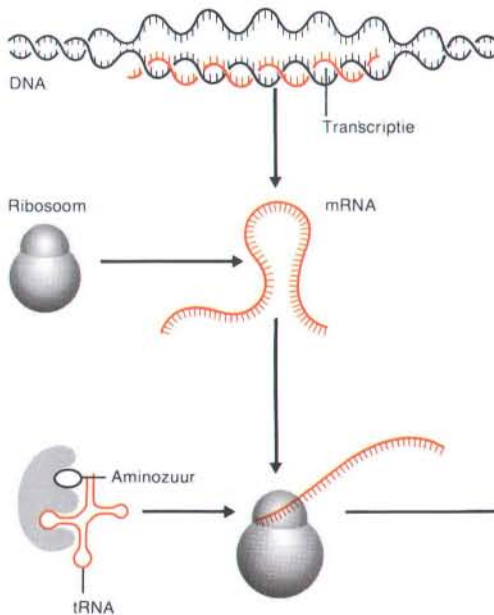
Boven: Twee celorganellen spelen een belangrijke rol in de eiwitsynthese: de kern (links) en de ribosomen, de kleine bollen op het endoplasmatisch reticulum (rechts).

Geheel links: Fig. 1. Dit schema geeft een overzicht van de benutting van energiehoudende voedingsstoffen. De eiwitten uit de voeding worden opgesplitst in aminozuren die voor het grootste deel worden gebruikt voor de opbouw van functionele lichaamseiwitten. Na afbraak van die eiwitten worden de aminozuren ingebouwd in nieuwe eiwitten of verbrand.

Links: Fig. 2. Eiwit dat via het voedsel in het lichaam komt, wordt afgebroken tot aminozuren, die voor het grootste deel in de eiwitturnover ingeschakeld worden voor de synthese van nieuwe eiwitten. Daarvoor zijn ook aminozuren beschikbaar die vrijkwamen door eiwitafbraak.

TABEL 2. Energiekosten voor eiwitsynthese

	ATP per aminozuur
Transcriptie (DNA → mRNA)	
3x (NTP → NMP) per triplet-codon	0,2±0,3
Translatie (mRNA → eiwit)	
- Vorming van aminoacyl t-RNA (2ATP → 2AMP + 2PPi)	2
- Koppeling mRNA aan ribosoom (GTP → GDP + Pi)	≈0,01
- Koppeling aminoacyl t-RNA aan ribosoom (GTP → GDP + Pi)	1
- Translokatie ribosoom t.a.v. mRNA (GTP → GDP + Pi)	1

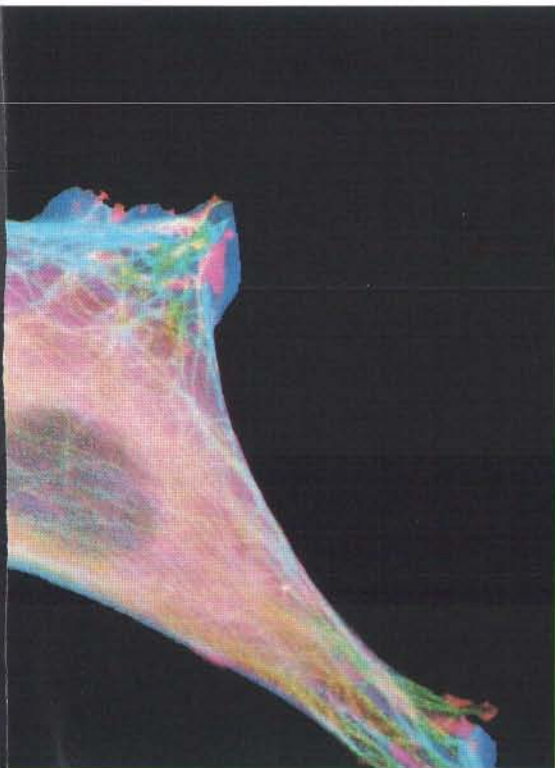


gemaakt voor elk aangehecht aminozuur of slechts éénmaal, voor één of meer ketens.

In tabel 2 zijn de energiekosten per aangehecht aminozuur aangegeven en uitgedrukt als de energie van molekulen ATP. ATP (adenosinetrifosfaat) is een energierijke fosfaatverbinding. De energie die bij de verbranding van voedingsstoffen vrijkomt wordt in de cel chemisch vastgelegd in ATP. Als de eindstandige fosfaatgroep van ATP wordt afgesplitst, ont-

staat ADP (adenosinedifosfaat) en komt de energie beschikbaar voor processen in de cel, waaronder eiwitsynthese en -afbraak.

Bij de eerste stap van de synthese, de transcriptie, wordt mRNA gevormd, dat de informatie bevat voor de aminozuurvolgorde van het eiwit. Voor het coderen van één aminozuur bevat het mRNA drie opeenvolgende nucleotiden (een triplet-codon). Bij de aanhechting van één nucleotide (AMP, UMP, CMP, GMP al-



Boven: Het web van eiwitten in een fibroblast (een bindweefselcel) kan door middel van fluorescentie microscopie zichtbaar gemaakt worden. Verschillende kleurstoffen onthullen de aanwezigheid van verschillende eiwitten: actine (blauw), vinculine (rood) en tubuline (groen). De gele gebieden zijn het gevolg van kleurmenging, de witte zijn artefacten (foutjes).

Links: Fig. 3. Deze schematische voorstelling toont de wijze waarop de genetische code in het DNA de juiste aminozuurvolgorde in het eiwit dicteert. Bij de transcriptie wordt een DNA-kopie, het mRNA, gemaakt. Deze wordt door de ribosomen, tijdens de translatie, vertaald in de aminozuurvolgorde. De aminozuren worden aangevoerd door tRNA, dat een aminozuur-tRNA-complex vormt.

gemeen NMP) aan het mRNA wordt het overeenkomstige nucleosidetrifosfaat (ATP, UTP, CTP, GTP; algemeen NTP) gehydrolyseerd. Bij de overgang van NTP naar NMP komt een hoeveelheid energie vrij gelijk aan die van 2 ATP. De vorming van één triplet-codon vereist hierdoor een energie overeenkomend met die van 6 ATP. Met behulp van één mRNA worden meestal meerdere eiwitketens (bijvoorbeeld 50) gemaakt. Er hoeft dus maar één keer energie

in het mRNA te worden geïnvesteerd voor het maken van meerdere eiwitketens. Anderzijds blijkt een mRNA vaak langer (bijv. twee maal) dan men op basis van de grootte van het eiwit zou verwachten. In dit voorbeeld is voor de transcriptie dus 12 ATP nodig per 50 aminozuren ofwel 0,25 ATP per aminozuur.

Het vertalen van het mRNA in aminozuren (translatie) is een samenspel van enkele deelprocessen. Eerst wordt het aminozuur door een passende carrier (tRNA) geactiveerd tot aminoacyl-tRNA, dit vraagt 2 ATP. Voor het eigenlijke syntheseproces worden de aminozuren door toedoen van de ribosomen in de juiste volgorde gebracht. De koppeling van mRNA aan het ribosoom (kosten 1 GTP = 1ATP) hoeft slechts éénmaal plaats te vinden voor iedere keten. Per aminozuur zijn die kosten dus vrijwel verwaarloosbaar. Voor de koppeling van het aminoacyl-tRNA aan het ribosoom, alsmede voor de verplaatsing van het ribosoom ten opzichte van het mRNA is steeds 1 GTP nodig per aminozuur. Het is onzeker in hoeverre voor het loskoppelen van de eiwitketen van het ribosoom ook energie nodig is, maar per aminozuur zal dit altijd gering zijn.

Het aanéenkoppelen van één mol aminozuren vereist dus de hydrolyse van zeker 4 á 5 mol ATP. Als we bedenken dat uit elke mol glucose (2816 kJ beschikbare energie) die ons lichaam met de voeding opneemt 36 mol ATP kan worden gemaakt, zal voor de vorming van 5 mol ATP circa 400 kJ beschikbare energie moeten worden opgenomen. Voor praktische doeleinden ligt het voor de hand de synthese-kosten uit te drukken per gram eiwit. Dit is betrekkelijk eenvoudig. Het gemiddelde moleculgewicht van de aminozuren die in eiwit voorkomen is 118. Uit 1 mol aminozuur (118 gram) zal dan 100 gram eiwit ontstaan. (H_2O splitst af). Per mol aminozuren of 100 gram eiwit is dus ca. 5 mol ATP of 400 kJ beschikbare energie nodig. Dit is 4 kJ per gram. Voor de 350 gram eiwit die dagelijks door het lichaam wordt gesynthetiseerd zal ca. 1500 kJ of 15 procent van de dagelijkse energiebehoefte (10000 kJ) nodig zijn.

Van de energie die nodig is voor de synthese van eiwitten blijkt slechts weinig in het eiwit zelf te worden vastgelegd. Het merendeel van de energie dient om het syntheseproces goed te laten verlopen. De energie die bij de afbraak van een peptidebinding vrijkomt is te gering

Eiwitturnover en ondervoeding

De fysiologie van de ondervoeding is een complex proces. Meestal is er sprake van zowel een eiwit- als een energietekort, waardoor eiwitten – meer dan normaal – een rol spelen in het energie-metabolisme. In extreme gevallen kan ondervoeding leiden tot klinische gebreksverschijnselen bekend onder de namen kwashiorkor en marasmus. De reactie van het lichaam op een eiwittekort verloopt in een aantal stadia. In geval van groei (netto synthese) zal deze onmiddellijk worden vertraagd bij een eiwitarm dieet en zelfs geheel tot stilstand komen in geval van een eiwitvrij dieet. De oorzaak hiervan is dat er eenvoudig te weinig of geen bouwstenen (aminozuren) zijn om het oorspronkelijke niveau van de netto synthese te handhaven. Ook bij niet meer groeiende volwassenen blijkt eiwittekort aanvankelijk meer invloed te hebben op de synthese dan op de afbraak van eiwit. Dit betekent dat vasten in eerste instantie leidt tot een netto afbraak van eiwitten met een hoge turnoversnelheid, zo ook de enzymen die betrokken zijn bij de afbraak van aminozuren. Het gevolg is dat de afbraak snel zal afnemen: slot op de deur! In een iets later stadium valt de turnover van nagenoeg alle eiwitten terug. Opmerkelijk is dat de turnover van levereiwitten minder sterk afneemt dan van spiereiwitten. Als verklaring wordt vaak gegeven dat een goed functioneren van de lever van levens-



Boven: Dit kindje lijdt aan kwashiorkor, als gevolg van acuut eiwitgebrek. Een laag eiwitgehalte in het bloedplasma leidt tot oedeemvorming.

voor de vorming van ATP en gaat derhalve als warmte verloren. Het moet waarschijnlijk worden geacht dat ook voor het afbreken van eiwitten energie nodig is. Hoe groot deze energiekosten zijn is moeilijk aan te geven. Men neemt echter aan dat de kosten van eiwitafbraak klein zijn ten opzichte van de kosten voor eiwitsynthese. De totale energiekosten voor de turnover van eiwitten zullen in ieder geval de kosten voor synthese en afbraak omvatten. Omdat de plaats waar eiwitten gesynthetiseerd worden, functioneren en worden afgebroken, verschillend kan zijn, moet ook rekening worden gehouden met eventuele energiekosten voor het transport van eiwitten. De totale kosten voor eiwitturnover zullen dus minstens 15 maar mogelijk tot 25 procent van de dagelijkse energiebehoefte van het lichaam opeisen.

Eiwitturnover, luxe of noodzaak?

Uit het voorgaande valt af te leiden dat de eiwitturnover een energieverblindend proces is zonder direct zichtbaar effect. Omdat verspilling niet tot de kenmerken van het leven behoort, doet zich de vraag voor welke fysiologische betekenis dit kan hebben.

De betekenis van de eiwitturnover kan vanuit verschillende gezichtspunten worden bekeken, hetgeen blijkt uit de verschillende dimensies waarin de omvang van het proces kan worden uitgedrukt. De *absolute maat* (gram per dag) zegt iets over de omvang van het syntheseproces en daardoor over de energiekosten en de hoeveelheid aminozuren die erbij betrokken zijn. De *fractionele maat* (k_s , fractie per dag) zegt iets over de intensiteit van het vervangingsproces in het lichaam of in het

belang is voor het lichaam. Een hoge turnover voor het preventief onderhoud en het adaptatievermogen van levereiwitten is hierbij noodzakelijk.

Wanneer het eiwitaanbod kleiner is dan de behoefte blijken vooral uit de spier aminozuren te worden gemobiliseerd om de turnover van eiwitten in andere vitale weefsels in stand te houden. De eiwitbehoefte voor het in stand houden van de turnover van bepaalde essentiële lichaamseiwitten wordt dan gedekt door minder belangrijke lichaamseiwitten. Functioneel lichaamseiwit wordt dan deels gebruikt als voedingseiwit. Als niet alleen het eiwitaanbod maar ook het energie-aanbod te laag is, zal er ook functioneel lichaamseiwit worden verbrand ten behoeve van de energievoorziening.

Over het algemeen zien we dat bij een eiwittekort de eiwitturnover en de netto afbraak van aminozuren afneemt. Hierdoor wordt het tekort relatief kleiner. Over lange termijn effecten van een verlaagde eiwitturnover is weinig bekend. De afnemende weerstand tegen ziekten zou kunnen worden verklaard door een dalende turnover van de betrokken eiwitten, met als gevolg een verlaagd preventief onderhoud en een verminderd adaptatievermogen.

betrokken orgaan. De fractionele synthesesnelheid (k_s) geeft aan welk deel van het eiwitbestand per dag wordt vervangen. De *halfwaardetijd* ($t_{1/2}$) zegt iets over de snelheid waarmee een bepaald eiwitbestand kan worden opgebouwd of afgebroken. De halfwaardetijd is de tijd waarin 50 procent van de oorspronkelijke hoeveel eiwit is afgebroken of vernieuwd. De halfwaardetijd kan worden berekend met behulp van de fractionele synthesesnelheid k_s :

$$t_{1/2} = \ln 2 \cdot k_s^{-1} = 0,69 \cdot k_s^{-1}$$

Na vier á vijf maal $t_{1/2}$ is circa 95 procent vervangen.

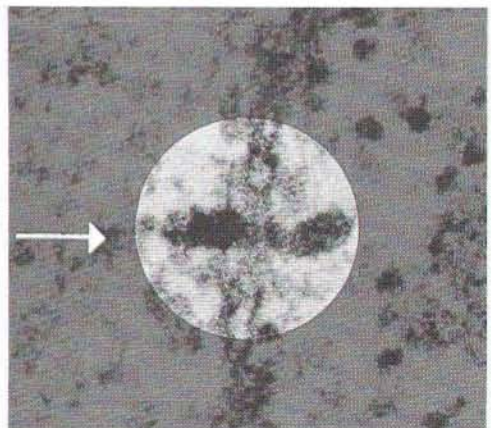
Voor het totale lichaamseiwit van de mens zijn de waarden van de absolute maat, fractionele maat en halfwaardetijd: ca. 350 g per dag,

3 procent per dag en 23 dagen. De laatste twee waarden zijn vooral een gewogen gemiddelde van het totale bestand aan functionele eiwitten. Fysiologisch is het daarom ook zinvol te kijken naar het eiwit van bepaalde weefsels of organen of naar individuele eiwitten.

Preventief onderhoud en adaptatie

In het algemeen is de synthese van eiwitten in het lichaam nodig voor het aanvullen of vervangen van eiwitten en het veranderen van de samenstelling van het eiwitbestand. Preventief onderhoud en adaptatie lijken de sleutelwoorden voor de fysiologische betekenis van de eiwitturnover. We onderscheiden hierbij enkele vormen die wij nader zullen toelichten.

Eiwitten en met name enzymatische eiwitten zijn voor hun activiteit sterk afhankelijk van hun ruimtelijke structuur. Bij afwijkingen kan inactivering of denaturatie optreden. Afwijkingen kunnen een gevolg zijn van synthesefouten. Bij de aanéenschakeling van aminozuren kunnen incidenteel de verkeerde aminozuren worden ingebouwd, waardoor het eiwit niet de gewenste biologische activiteit verkrijgt. Het effect zal ernstiger zijn als de oorzaak niet bij de translatie (mRNA \rightarrow eiwit) maar bij de transcriptie (DNA \rightarrow mRNA) ligt, immers vanuit één mRNA worden meerdere eiwitmolekules gevormd. De gevolgen kunnen

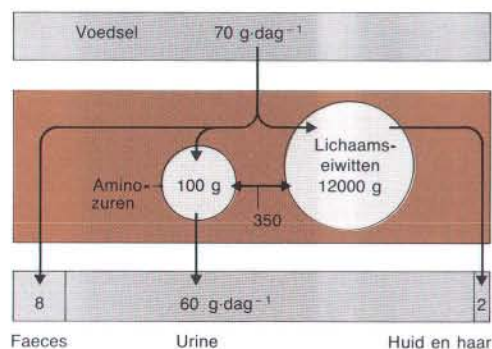


Op deze elektronenmicroscopische opname is een mRNA-molekuul te zien, dat betraapt werd op het moment dat het via de kernmembranen de kern verliet, op weg naar de ribosomen in het cytoplasma.

uiteenlopen van zeer onbetekenende tot zeer ernstige enzymdeficiënties.

Eiwitturnover kan de synthesefouten niet voorkómen, maar wel de nadelige gevolgen daarvan, omdat toevallige synthesefouten steeds op andere plaatsen zullen optreden. De intensiteit van synthesefouten is moeilijk aan te geven. Een gangbaar getal is dat bij één op de 10000 koppelingen tijdens transcriptie of translatie een foutieve precursor wordt ingebouwd. Dit lijkt weinig maar kan voor grotere eiwitten zoals myosine wel een probleem vormen. Dit spiereiwit bestaat uit ca. 5000 aminozuren; dit betekent dat één van elke twee myosinemolekulen niet in orde zou zijn. Dit probleem wordt deels ondervangen doordat grote eiwitten meestal zijn opgebouwd uit meerdere kleine ketens.

Inactivering kan ook optreden door breuk van de keten, of 'algemene slijtage' bijvoorbeeld door oxydatie of het inwerken van zware metalen. Continue vervanging van eiwitten heeft fysiologisch betekenis als een soort *preventief onderhoud*. Tot het preventief onderhoud kan ook worden gerekend het aanvullen van eiwitten die tijdens het functioneren verloren gaan. Een goed voorbeeld hiervan zijn de verteringsenzymen die in het maagdarmkanaal worden vermengd met het voedsel om de vertering mogelijk te maken en daarbij zelf niet gespaard blijven. De aminozuren die daarbij



Boven: Fig. 4. Dit schema toont de dagelijkse opname en uitscheiding van eiwitequivalenten door het lichaam in grammen per dag. Het grootste verlies (urinstikstof) komt uit de kleinste pool (aminozuren).

Rechtsboven: Eiwitten komen in alle natuurlijke voedingsbronnen voor. De belangrijkste bronnen zijn vlees en vis.

vrijkomen zullen na resorptie weer worden gebruikt voor de synthese van nieuwe eiwitten, waaronder verteringsenzymen. Met betrekking tot de *adaptatie* worden structurele en metabole adaptaties onderscheiden. *Structurele adaptatie* behelst een aanpassing van de structuur, zoals bijvoorbeeld optreedt bij groeiprocessen. Groei is een dynamisch proces, zeker op moleculair niveau. Het is eerder een verbouwing dan louter een uitbouw van het lichaam. Vaak moet eerst iets worden afgebroken voordat er iets nieuws en iets groters voor in de plaats kan komen. Bij kinderen in de groei is de turnover van eiwitten doorgaans hoger dan bij volwassenen. Met name het bindweefseiwit collageen is hiervan een goed voorbeeld. Tijdens de groei is de turnover redelijk hoog, daarna vrijwel nul. Structurele adaptatie treedt ook op bij zwangerschap en wondgenezing.



Metabole adaptatie betreft vooral enzymen. Er zijn vele voorbeelden van een aanpassing van de activiteit van enzymen aan interne en externe factoren. Fluctuaties in de enzymniveau's kunnen onder andere een gevolg zijn van dag/nachtritme, hormonen en voeding.

Het bovenstaande doet reeds vermoeden dat de turnoversnelheid voor eiwitten vrij individueel bepaald wordt door diverse factoren. Doorgaans is het zo dat turnoversnelheid van een bepaald eiwit hoger is naarmate de betrokkenheid bij adaptatieprocessen groter is. Als de gemiddelde halfwaardetijd van lichaamseiwit (23 dagen) zou gelden voor alle eiwitten, zou er van snelle adaptatie nauwelijks sprake kunnen zijn. Het opbouwen of afbreken van een bepaald enzymniveau zou dan ruim drie maanden (4 à 5 maal $t_{1/2}$) in beslag nemen. Adaptatieprocessen kunnen (en moeten) soms

veel sneller verlopen. Sommige leverenzymen vertonen sterke fluctuaties binnen één dag onder invloed van de voeding. In die gevallen moet sprake zijn van een korte halfwaardetijd en dus van een hoge turnoversnelheid.

Eiwitbehoefte en eiwitturnover

Op het eerste gezicht lijkt het vreemd dat het lichaam een zekere eiwitbehoefte vertoont om het eiwitbestand, of nauwkeuriger de stikstofbalans, op peil te houden. Kennelijk gaat er altijd eiwit verloren. Dit komt tot uiting in de uitscheiding van stikstofhoudende stoffen in de urine. Vanwege de vrij constante verhouding tussen eiwit en het er in gebonden N gebruikt men dikwijls de stikstof als maat voor de hoeveelheid eiwit (eiwit = 6,25 N). Vrijwel alle stikstof in het lichaam (ca. 2 kg) ligt vast in de vorm van eiwit (ca. 12 kg). In het lichaam komt verder ca. 100 gram vrije aminozuren voor, waarvan slechts 1 tot 5 gram in het bloed. De hoeveelheid vrije aminozuren bedraagt dus minder dan 1 procent. Niettemin blijkt dat het merendeel van de stikstof niet als eiwit maar als ureum verloren gaat (fig. 4). Eiwit als zodanig is vrij stabiel. Wanneer eiwitten door het turnoverproces tijdelijk worden afgebroken tot vrije aminozuren, neemt de kans op verlies toe. Een toename van de eiwitturnover zou dus aanleiding kunnen geven tot een verhoogde eiwitbehoefte. Omgekeerd treedt bij eiwitdeficiëntie een verlaging van de turnover op om het stikstofverlies terug te dringen.

De hoeveelheid stikstof die gebonden in eiwit verloren gaat via faeces, huid, haar, transpiratievocht, nagels etc. is slechts 10 procent van de dagelijkse eiwitbehoefte. Bij het onttrekken van aminozuren aan de resynthese van eiwit blijken de volgende processen een rol te spelen.

Basale activiteit van katabole enzymen: aminozuren kunnen door altijd aanwezige enzymen van hun aminogroep worden ontdaan, waardoor zij hun betekenis als eiwitprecursor verliezen. Zij worden dan benut voor het energiemetabolisme. Uit experimenten blijkt dat de aminozuuroxydatie bij ondervoeding drastisch wordt teruggedrongen.

Fluctuaties in eiwitbestand: bij adaptatie worden andere eiwitten gemaakt dan er worden afgebroken. Hierdoor kan een verschil ontstaan (ook in de tijd) tussen de benodigde

Hoewel de rol van het eiwit-metabolisme bij het leveren van topprestaties nog onduidelijk is, zweert menige sporter bij eiwitrijke voeding. Deze krachtssporter verorbert bij zijn ontbijt blijkbaar meer dan tien eieren.



en de beschikbare aminozuren. Niet bruikbare aminozuren zullen worden afgebroken.

Gemodificeerde aminozuren: een aantal aminozuren (3-methylhistidine, hydroxyproline e.a.) kunnen niet als zodanig in eiwit worden ingebouwd, omdat hiervoor geen triplet-codon bestaat. Alleen de niet-gemodificeerde vormen worden ingebouwd. Na synthese van het eiwit vindt dan de modificatie plaats door methylering resp. hydroxylering. Na afbraak van het eiwit kunnen de gemodificeerde aminozuren niet in hun oorspronkelijke vorm worden teruggebracht en daarom worden ze afgevoerd. Ter compensatie dienen niet-gemodificeerde aminozuren te worden aangevoerd.

Precursor voor specifieke N-verbindingen: het lichaam kent verschillende zogenaamde biogene aminen die worden verkregen door decarboxylering van aminozuren (tyramine, tryptamine). Ook voor sommige andere syntheseprocessen worden bepaalde aminozuren als precursor gebruikt (bijvoorbeeld glycine voor de synthese van haemgroepen).

Substraat voor energiemetabolisme: onder bijzondere omstandigheden kan extra eiwit worden aangesproken voor het energiemetabolisme. Hierbij kan sprake zijn van directe oxydatie van de koolstofketens of van indirecte verbranding waarbij aminozuren eerst in glucose worden omgezet: de gluconeogenese.

Verhoogde eiwitbehoefte

De Nederlandse voedingsmiddelentabel beveelt voor volwassenen ca. 1 gram eiwit per kg lichaamsgewicht aan. Onder normale omstandigheden lijkt deze hoeveelheid zeker voldoende. De vraag is echter of er niet ook omstandigheden zijn waarbij de behoefte duidelijk is verhoogd.

In het algemeen zal de eiwitbehoefte toenemen als de opname van eiwit en aminozuren is verstoord of als het verlies van eiwitten en aminozuren is verhoogd. Bij een voeding die normaal gesproken toereikend is, kan in bijzondere gevallen eiwitdeficiëntie (gebrek) optreden. Aandoeningen van het maagdarmkanaal kunnen tot een verstoring van de vertering van eiwitten en van de resorptie van aminozuren leiden. Een toename van het eiwitverlies kan optreden bij slecht functionerende nieren en bloedingen. De afbraak van eiwit blijkt toe te nemen bij weefselbeschadiging, operaties, (brand)wonden, infecties, koorts en andere vormen van stress. In de kliniek worden daarom eiwitrijke voedingen aangewend om de kans op succes bij operaties te vergroten, de (brand)wondheling te bevorderen en het risico van infecties te verminderen.

Een heel bijzondere toestand treffen we aan in de sportwereld waar aan het menselijk li-

chaam extreem hoge eisen worden gesteld. Vrij algemeen neigt men hier naar eiwitrijke diëten en niet zelden naar eiwitpreparaten. Deze neiging wordt veelal gevoed door de suggestieve relatie tussen eiwitrijke voeding, spieren, kracht en prestatie. Zijn er ook fysiologische gronden voor een verhoogde eiwitbehoefte van topsporters?

Aannemende dat de vertering en resorptie normaal verlopen is de eiwitbehoefte verhoogd als het verlies aan eiwit en/of aminozuren toeneemt. Verschillende factoren die daartoe aanleiding kunnen geven spelen bij de sportbeoefening steeds door elkaar heen en zijn nauwelijks afzonderlijk te bestuderen. Theoretisch is het wat eenvoudiger.

In de eerste plaats zal ook een sportbeoefenaar de normale eiwitbehoefte vertonen voor het in stand houden van de verschillende lichaamsfuncties. Daarnaast is echter sprake van een aantal bijzondere factoren. Training heeft tot doel het prestatieniveau van het lichaam te verhogen. Ten dele komt dit tot stand door verandering (adaptatie) van het eiwitbestand. Een verhoogd uithoudingsvermogen vraagt onder andere om het activeren van enzymsystemen die dit mogelijk maken; een vergroting van de kracht vraagt om een toename van de spiermassa.

Een hoog prestatieniveau blijkt zeer kwetsbaar. Het in stand houden van het geadapteerde eiwitbestand zou een verhoogde eiwitturnover kunnen vragen. Welke rol het eiwitmetabolisme speelt op het moment dat een top-prestatie wordt geleverd, is nog erg onduidelijk. In sommige gevallen is sprake van netto eiwitafbraak gevolgd door oxydatie van aminozuren. Het eiwit levert dan een meer dan normale bijdrage aan het *energiemetabolisme*, terwijl er in de vorm van vet voldoende brandstof aanwezig is. Oorzaak en gevolg zijn in dit opzicht nog erg onduidelijk. Worden amino-

zuren verbrand omdat zij om een of andere reden door netto eiwitafbraak beschikbaar komen, of omdat de beoogde prestatie niet kan worden geleverd zonder aminozuren als energieleverancier te gebruiken? Dit laatste zou het geval kunnen zijn als onder de gegeven omstandigheden per liter zuurstof meer ATP kan worden verkregen uit de verbranding van aminozuren dan uit de verbranding van vetzuren. Het afbreken van spiereiwitten om de prestatie te verhogen lijkt echter het begin van het einde.

Na het leveren van een prestatie treedt een herstelfase in waarbij het lichaam en vooral de spieren weer tot het oorspronkelijke prestatieniveau worden gebracht. Onduidelijk is of het herstel door een aanbod van extra eiwit kan worden versneld.

Bij topsport zouden dus verschillende factoren aanleiding kunnen geven tot een verhoging van de eiwitbehoefte. In alle gevallen staat de turnover van eiwitten daarbij centraal, terwijl in sommige gevallen een verhoogde eiwitbehoefte ook direct aanwijsbaar is. Een zekere verhoogde eiwitbehoefte voor sporters moet daarom niet onwaarschijnlijk worden geacht. Voor het nut van eiwitrijke preparaten bestaan echter geen directe aanwijzingen.

Het eiwitbestand stelt het lichaam in staat zich te handhaven in de wisselwerking met de omgeving. Naarmate deze intensiever of veelzijdiger is zal de slagvaardigheid van het eiwitbestand moeten toenemen. Het eiwitmetabolisme is verantwoordelijk voor preventief onderhoud, adaptatie, groei en herstel van het eiwitbestand. De eiwitturnover vervult daarbij een schakelfunctie die alleen goed kan worden vervuld bij een adequate voeding. Een niet-adequate voeding zal aanleiding geven tot allerlei degeneratieverschijnselen (functiestoornissen, ziektes, infecties, veroudering, etc.)

Literatuur

- Hermus, R.J.J., Kroes, R., (1982). *Voeding, gezondheid en ziekten. - Verbanden en misverstanden*. Natuur en Techniek, 50, 8, pag. 580-599.
 Peri, C., Spadoni, M.A., (1985). *Nieuwe eiwithormonen*. Natuur en Techniek, 53, 7, pag. 554-561.
 Voorma, H.O., (1982). *De eiwitsynthese - Een cellulair vertaalkprobleem*. Natuur en Techniek, 50, 4, pag. 306-323.

Bronvermelding illustraties

- Dr. Jane Burridge, IBM United Kingdom Ltd., Winchester: pag. 520-521.
 Dr. Don W. Fawcett, Harvard University, pag. 523.
 Dr. J.V. Small, Institut für Molekularbiologie, Salzburg: pag. 524-525.
 WHO, Genève: pag. 526.
 Upjohn Company, Kalamazoo, Mich.: pag. 527.
 Paul Mellaart, Maastricht: pag. 528-529.
 ABC-press, Amsterdam: pag. 530-531.



**H.C.A. van Beek,
E.E. Brand
en H.M. Brand**
Bladel

Zilverhalogenide kristallen, zoals hier afgebeeld, zijn nog altijd de beeldvormers op een fotografische film. Op een moderne kleurenfilm worden ze omgeven door ongeveer 200 andere chemicaliën om beelden optimaal vast te leggen.

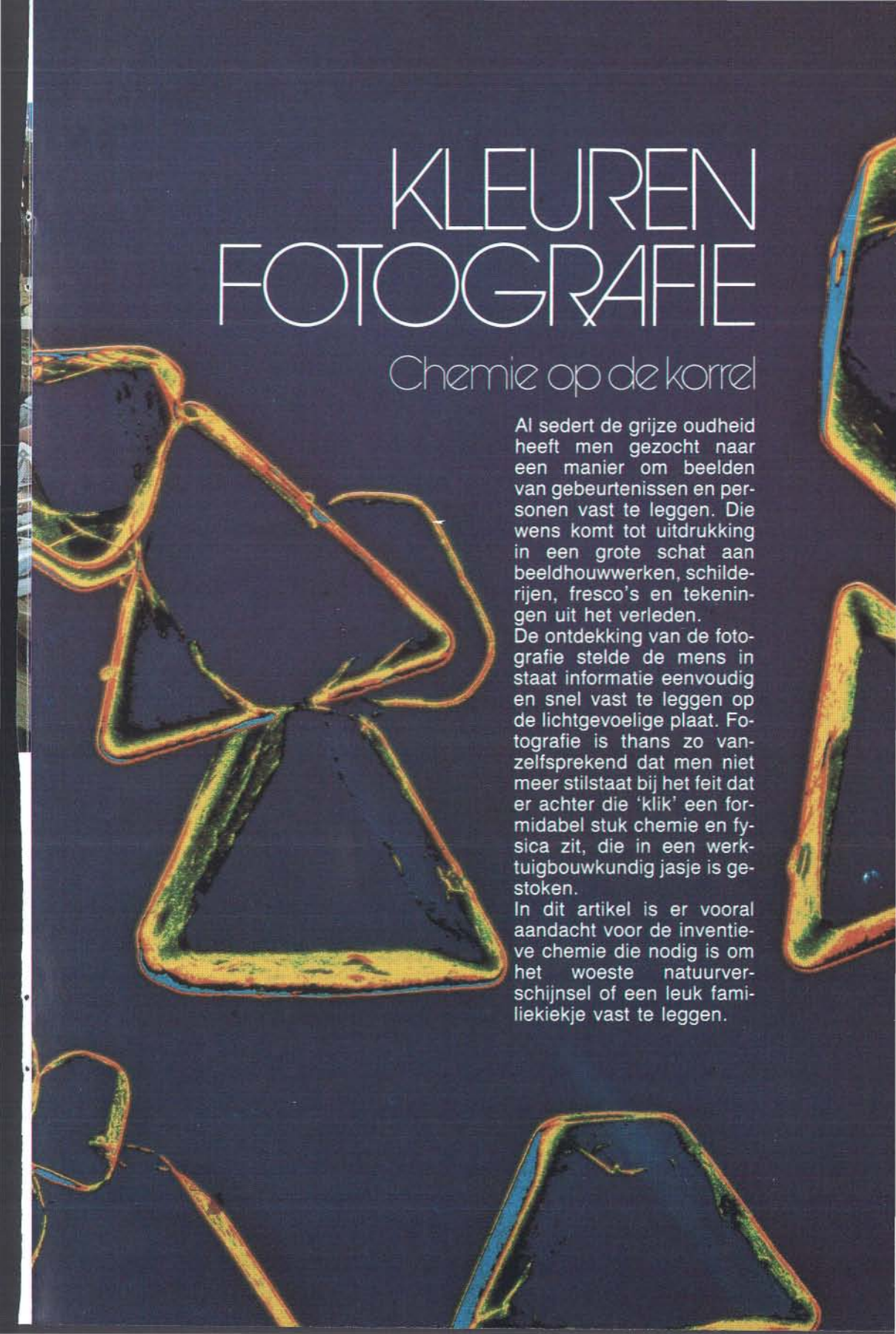
KLEUREN FOTOGRAFIE

Chemie op de korrel

Al sedert de grijze oudheid heeft men gezocht naar een manier om beelden van gebeurtenissen en personen vast te leggen. Die wens komt tot uitdrukking in een grote schat aan beeldhouwwerken, schilderijen, fresco's en tekeningen uit het verleden.

De ontdekking van de fotografie stelde de mens in staat informatie eenvoudig en snel vast te leggen op de lichtgevoelige plaat. Fotografie is thans zo vanzelfsprekend dat men niet meer stilstaat bij het feit dat er achter die 'klik' een formidabel stuk chemie en fysica zit, die in een werktuigbouwkundig jasje is gestoken.

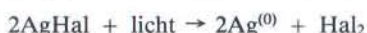
In dit artikel is er vooral aandacht voor de inventieve chemie die nodig is om het woeste natuurverschijnsel of een leuk familiekiekje vast te leggen.



Het tijdperk van de fotografie heeft duidelijk zijn stempel gedrukt op de wereldgeschiedenis. Beelden van belangrijke gebeurtenissen staan nu vrijwel direct eenieder ter beschikking. De fotografie heeft zich deze eeuw bovendien verheven tot een eigen kunstvorm, welke door miljoenen wordt bedreven. In oudere kunstvormen ontstonden stromingen als impressionisme, expressionisme, kubisme en dadaïsme die zonder het bestaan van de fotografie wellicht niet mogelijk waren geweest. De kunstenaars konden het uitdrukken van de eigen gevoelens nu echt tot volledige ontwikkeling brengen. Ze hadden niet langer de plicht om als reporters te functioneren.

Het chemisch fundament voor de fotografie is de gevoeligheid van zilverzouten voor licht. Dat gegeven was al lang bekend, maar het duurde tot halverwege de vorige eeuw voor het voor het eerst voor fotografische doeleinden werd toegepast.

Het principe leggen we uit voor zwart-witfilm, het geldt ook voor kleurfilm. Wanneer een vers bereide suspensie van zilverchloride, gemaakt door reactie van zilvernitraat met natriumchloride, aan het zonlicht wordt blootgesteld, vindt al spoedig een verkleuring van wit naar grijs plaats doordat de reactie



verloopt. Hal staat daar voor de halogenen chloor, broom en jood. Bij die reactie ontstaat metallisch zilver. Hetzelfde gebeurt in feite in fotografische film. Een 'ouderwetse' zwart-witfilm wordt gemaakt door bij verhoogde temperatuur zilverhalogenide te emulgeren in gelatine; gelatine is een polypeptide van dierlijke oorsprong. In de fotografie is gelatine in gebruik die eigenlijk hetzelfde is als de normale huishoudgelatine. Als halogenide wordt hier meestal broom met een klein beetje jood ge-

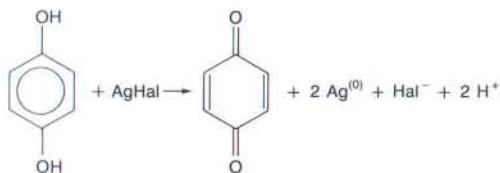


Fig. 1. De reductie van zilverhalogenide tot metallisch zilver waarbij de ontwikkelstof hydrochinon oxydeert. De reactie wordt gekatalyseerd door metallisch zilver.

bruikt. De emulsie wordt aangebracht op een polyester drager en de aldus ontstane film wordt gedroogd. De lichtgevoelige korrels, verder *grains* genoemd, zijn in de film ingebed in de gelatinelaag. De film is nu klaar voor gebruik.

Waar op de film licht valt ontstaan in de belichte grains zilveratomen. De volgende fase is het ontwikkelen van de film. Hij wordt daartoe in contact gebracht met een ontwikkelaar, waarvan de stof hydrochinon een hele bekende is (zie fig. 1). Een ontwikkelaar is in staat zilverhalogenide te reduceren tot metallisch zilver, waarbij, en dat is cruciaal, het eerder gevormde metallisch zilver als katalysator functioneert. Uitsluitend die grains waarin door belichting zilveratomen zijn gevormd, worden in de korte ontwikkeltijd volledig omgezet in metallisch zilver. Aangezien de achterblijvende zilverhalogenidegrains nog steeds lichtge-

Sensitisering van zilverhalogeniden

De Duitse chemicus Vogel vond in 1873 dat de trifenylmethaankleurstof coralline zilverbromide gevoeliger maakte voor langgolvig licht. Hij noemde het verschijnsel sensitiserings. Ditzelfde verschijnsel nam hij ook waar voor de kleurstof erythrosine, die thans in gebruik is als levensmiddelenkleurstof. Coralline en erythrosine worden tegenwoordig niet meer gebruikt, maar het principe van Vogel, om door middel van kleurstoffen zilverhalogeniden te activeren voor licht waar ze normaal niet gevoelig voor zijn, is een basisprincipe van de fotografie. De ontdekking van Vogel was zelfs de directe aanzet voor de fotografische methode zoals wij die thans kennen.

Tegenwoordig zijn sensitiserers afgeleid van kleurstoffen, behorende tot de groep der cyaninekleurstoffen. Doorgaans worden deze verbindingen opgebouwd uit een beperkt aantal basisstructuren, zoals chinoline, benzothiazool en benzoxazool (zie fig. 1-1). In zo'n cyaninekleurstof zijn steeds een tweetal van dergelijke structuurelementen verbonden door middel van een 'chemische brug'.

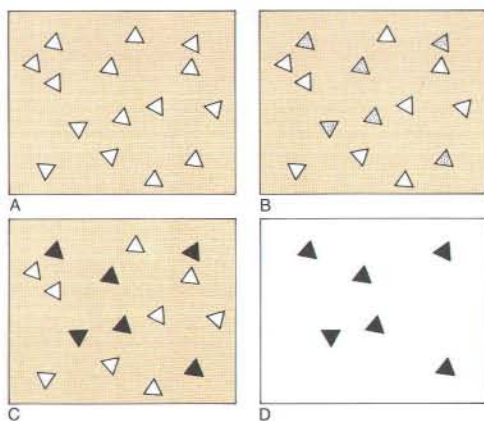
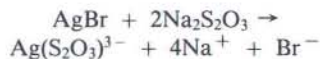


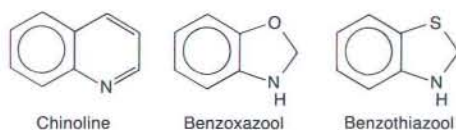
Fig. 2. Belichte zilverhalogenidegrains vormen uiteindelijk als metallisch zilver de zwarting van het negatief. Fig. 2A toont onbelichte grains. Na belichting ontstaan in belichte korrels kernen van metallisch zilver (B). Rond die kernen maakt de ontwikkelaar meer zilver (C). De onbelichte korrels worden opgelost in de fixeervloeistof (D).

voelig zijn, moeten deze verwijderd worden. Dit gebeurt door ze te laten reageren met de fixeër, een oplossing van natriumthiosulfaat:



Het zilverion, opgeborgen in een complexie met thiosulfaat is nu oplosbaar in water en kan worden uitgewassen. Bij dit ontwikkel- en fixeërproces ontstaat een negatief waarvan naar believen afdrucken kunnen worden gemaakt (zie fig. 2).

Het fotografisch proces is bijzonder gevoelig. Voor de ontwikkeling van één zilverhalogenidegrain tot een korrel metallisch zilver zijn slechts vier zilveratomen nodig. Door de korrels groter te maken, wordt het materiaal dus lichtgevoeliger. In de praktijk zijn korrelgroottes tot $10 \mu\text{m}$ acceptabel. Daarbij kunnen dan versterkingsfactoren gehaald worden van

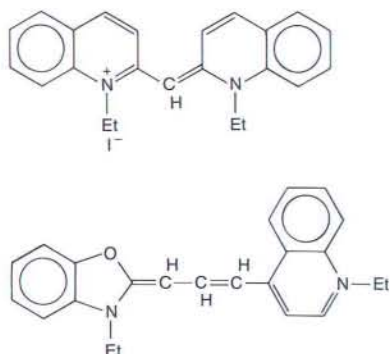


Die brug wordt gevormd door een methine koolstofatoom ($=\text{C}-$), een stikstofatoom ($=\text{N}-$), of een koolstofketen met een oneven aantal koolstofatomen die afwisselend met enkelvoudige en dubbele bindingen aan elkaar gebonden zijn (zie fig. 1-2).

Om de gevoeligheid voor kleuren, vertaald in grijstinten, van het oog te simuleren, volstaan de fabrikanten niet met een enkele sensitiser, maar gebruiken ze mengsels van verschillende van deze kleurstoffen. De gebruikte hoeveelheden variëren in de emulsie van 5 tot 100 ppm (deeltjes per miljoen 'andere' deeltjes).

Naast stoffen die zilverhalogeniden voor het zichtbare licht sensibiliseren zijn er ook ontwikkeld die de zilververbindingen gevoelig maken voor infrarood licht. Het infrarood begint ongeveer bij golflengten groter dan 800 nm. Er zijn thans sensitizers beschikbaar die reageren op infrarode straling tot 1300 nm. De verbindingen hebben helaas slechts een beperkte stabiliteit, waardoor de film slecht houdbaar is.

Sensitisers zijn vaak bijzonder complexe verbindingen, ondanks het feit dat de basisopbouw al heel lang dezelfde is. Helaas heeft men heden ten dage nog slechts een gebrekkig inzicht in het mechanisme van de sensibilisering en is nog veel onderzoek daarnaar gaande, dat hoofdzakelijk op basis van 'trial and error' wordt uitgevoerd.



Geheel boven: Fig. 1-1. De drie chemische verbindingen die vaak het uitgangspunt vormen voor de synthese van sensitizers.

Boven: Fig. 1-2. Een voorbeeld van twee sensitizers waarin steeds twee basiscomponenten aan elkaar gekoppeld zijn.

10⁸! Geen enkele andere vorm van optische of elektronische informatieregistratie is tot nu toe tot deze prestaties in staat.

Het verhaal van de zwart-witfotografie is daarmee echter nog lang niet volledig. De volgende stap in het verhaal moet de kleur in de zwart-witfotografie zijn. Die uiteenzetting is ook van belang om de principes van de kleurenfotografie beter te kunnen begrijpen.

Sensitisering

Licht is een elektromagnetische golfverschijnsel. De golflengte van zichtbaar licht varieert van 350 tot 750 nm (1 nanometer = 10^{-9} meter). 'Wit' licht bevat al deze golflengten, waarbij overigens niet alle golflengten even veel voorkomen.

Het probleem bij de fotografie is nu dat geen van de zilverhalogeniden gevoelig zijn voor alle golflengten uit het zichtbaar licht. De gevoeligheidscurve, de mate waarin ze reageren op de verschillende golflengten, is zeker niet in overeenstemming met de gevoeligheid van het menselijk oog. Om dus geen informatie te verliezen en om een kleurbeeld 'natuurgetrouw' in grijstinten om te zetten, zal het zilverhalogenide geactiveerd moeten worden voor bepaalde delen van het spectrum. De zilverhalogeniden zijn gevoelig voor het kortgolfige, blauwe



Principes van de kleurenleer

Wit licht is opgebouwd uit kleuren die van golflengte variëren tussen 350 en 750 nm. Qua kleur zijn in dat traject een drietal gebieden te onderscheiden (Tabel II-1). De kleuren blauw, groen en rood die in die gebieden zichtbaar zijn, worden wel de drie basiskleuren genoemd.

TABEL II-1 Golflengten van de drie basiskleuren	
Golflengte (nm)	Waargenomen kleur
350 - 500	blauw
500 - 600	groen
600 - 750	rood

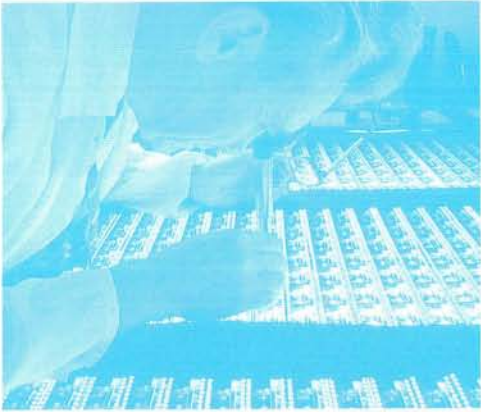
Uitgaande van die drie basiskleuren zijn allerlei mengkleuren samen te stellen. Het principe daarvan wordt goed geïllustreerd in het experiment van Maxwell: licht van een drietal projectoren wordt door een rood of een blauw of een groen filter geleid. De drie bundels worden gezamenlijk op een scherm geprojecteerd. Daarbij worden de projectoren zo opgesteld dat de afbeeldingen van de drie bundels elkaar gedeeltelijk overlappen. In de drie gebieden waar twee basiskleuren mengen ontstaan nu een drietal mengkleuren. In het gebied waar de drie basiskleuren samenvallen (zie fig. II-1) wordt wit waargenomen:

rood + blauw → magenta

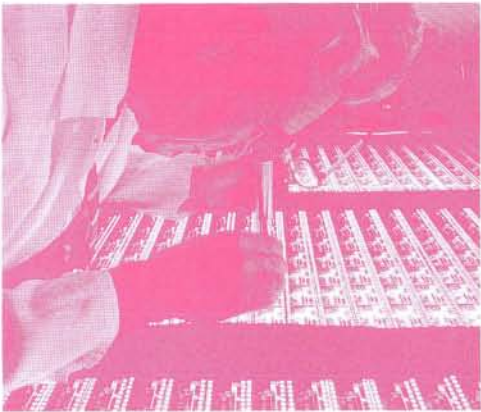
rood + groen → geel

groen + blauw → cyaan

rood + blauw + groen → wit



In de drie kleurgevoelige lagen op kleurenpositief film ontstaan de afbeeldingen in geel, cyaan en magenta. Hier is (linksonder) ook het mengresultaat van geel en cyaan afgebeeld. Hieronder staat het 'optel'-resultaat van de drie kleurcomponenten. Afgebeeld is een emulsieonderzoeker die proefstroken van films beoordeelt.



Men spreekt hier van additieve kleurmenging. Daarnaast kent men ook nog subtractieve kleurmenging. Daarbij wordt de omgekeerde weg bewandeld en worden de basiskleuren gegenereerd uit de mengkleuren:

magenta + geel \rightarrow rood

magenta + cyaan \rightarrow blauw

geel + cyaan \rightarrow groen

magenta + geel + cyaan \rightarrow zwart

De kleurenleer is, uiteraard, één der essentiële grondslagen van de kunst en de techniek van de kleurenfotografie.

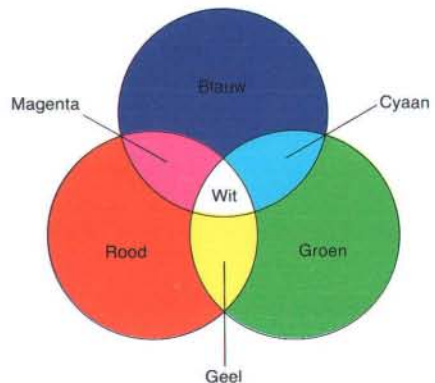


Fig. II-1. Bundels rood, groen en blauw licht, gedeeltelijk over elkaar geprojecteerd vertonen dan hun mengkleuren. Bij overlap van de drie bundels ontstaat wit licht.

deel van het spectrum. Zilverchloride reageert op licht tot een maximumgolflengte van 410 nm, het bromide is gevoelig tot 470 nm en het jodobromide zelfs al tot 525 nm. In de praktijk gebruikt men in films mengsels van zilverbromide en -jodide. De uitbreiding van de gevoeligheid tot de rest van het spectrum, en de correctie op gevoeligheidsafwijkingen ten opzichte van de gevoeligheid van het menselijk oog, gebeurt nu met kleurstoffen die men *sensitisers* noemt (zie Intermezzo I). Met behulp van de sensitiser met de ingewikkelde naam 3,3'-diethyl-9-methylthiacarbocyanine-bromide, kan een zilverchloride-emulsie gevoelig gemaakt worden voor licht met een golflengte tot 645 nm. De sensitisers nemen licht van een bepaalde golflengte op en geven de energie ervan door aan de halogeniden in de film. In de praktijk gebruiken filmfabrikanten een mengsel van verschillende sensitisers om zo optimaal mogelijke resultaten te bereiken.

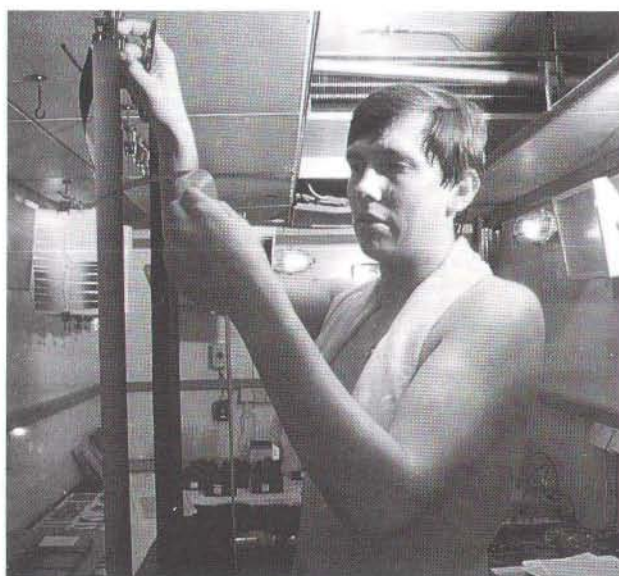
Hiermee zijn slechts de belangrijkste basisproducten voor de zwart-witfotografie besproken voorzover die ook van belang zijn voor het principe van de kleurenfotografie. In dit kader moeten we de bespreking van de zwart-witfotografie afsluiten, hoewel er nog veel meer chemicaliën in de gelatinelaag op de films te vinden zijn, die een functie hebben in de optimalisering van het eindproduct.

Kleurenfotografie

De kleurenfotografie is in essentie niet verschillend van de zwart-witfotografie, hoewel de juiste vastlegging van de kleur natuurlijk bijzonder belangrijk is. Een goed systeem voor kleurenfotografie moet daarom voldoen aan de volgende twee eisen:

1. de gevoeligheid van het fotografisch materiaal moet zodanig zijn dat objecten met verschillende kleuren onder variërende lichtsterktes een gedifferentieerd latent beeld kunnen vormen op een film;
2. het chemische of fysische proces dat het latente beeld zichtbaar maakt, moet deze verschillen vasthouden, zodat de gewenste afbeelding wordt verkregen.

Een kleurenfilm is in essentie opgebouwd uit vier lagen, aangebracht op een polyester drager. Het zijn achtereenvolgens een blauwgevoelige laag, een geelfilter en een groen- en een roodgevoelige laag. De roodgevoelige laag zit op de drager. De drie gevoelige lagen reageren ieder op een deel van het spectrum van het zichtbaar licht (zie Intermezzo II). Iedere laag is opgebouwd uit een zilverbromide-emulsie die is gesensitiseerd voor licht van de gewenste golflengte. In die laag is steeds ook een kleurvormende component aanwezig, waaruit tijdens de ontwikkeling de kleurstof ontstaat. De

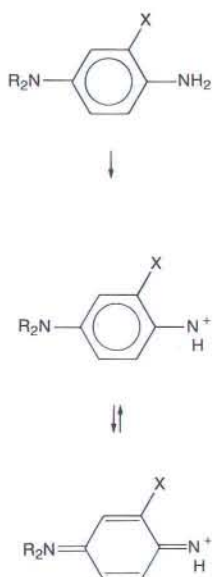


blauwgevoelige laag hoeft niet te worden gesensitiseerd, omdat het halogenide daar immers al gevoelig voor is. Het geelfilter is aangebracht om te voorkomen dat blauw licht toch invloed uitoefent op de onderliggende lagen. Wanneer nu een plaatje geschoten wordt van een object zal het blauwe licht ervan aangrijpen in de blauwgevoelige laag, het licht van andere kleuren kan vrijelijk het geelfilter passeren, waarna groen licht de emulsie in de groengevoelige laag belicht en het rode licht hetzelfde doet in de roodgevoelige laag. Na ontwikkeling van de film wordt in de blauwgevoelige laag een gele, in de groengevoelige een magenta en in de roodgevoelige laag een cyaan kleurstof gevormd.

Die kleurstofvorming kan overigens op twee manieren plaatsvinden, de ene geeft diapositieven, de andere levert negatieven. In positieve processen als Kodachrome en Agfacolor wordt het latente beeld eerst ontwikkeld in een zwart-witontwikkelaar. Daarbij worden de belichte zilverhalogenidegrains omgezet in metallisch zilver. Vervolgens worden de niet-belichte grains gebruikt voor de vorming van de kleurstof. Daarna wordt het metallisch zilver verwijderd. In het andere geval worden de belichte grains direct aangewend voor de vorming van de kleurstof. De consequentie daarvan is dat een negatief beeld ontstaat.

Links: Films met emulsies van nieuwe samenstelling ondergaan uitgebreide tests voor een beslissing valt ze al of niet in productie te nemen. Proeven in de hitte én in de kou horen daarbij.

Rechts: Fig. 3. De oxydatie-reactie van de kleurontwikkelaar N,N-dialkyl-p-fenyldiamine tot het chinondiimine. Daarbij wordt een zilverion in metallisch zilver omgezet.



Kleurstofvorming

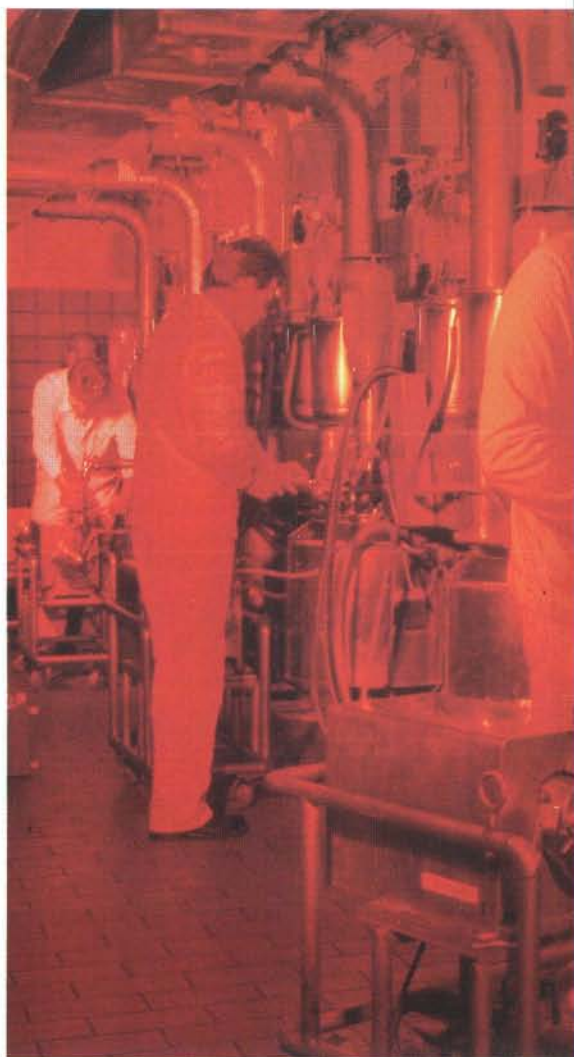
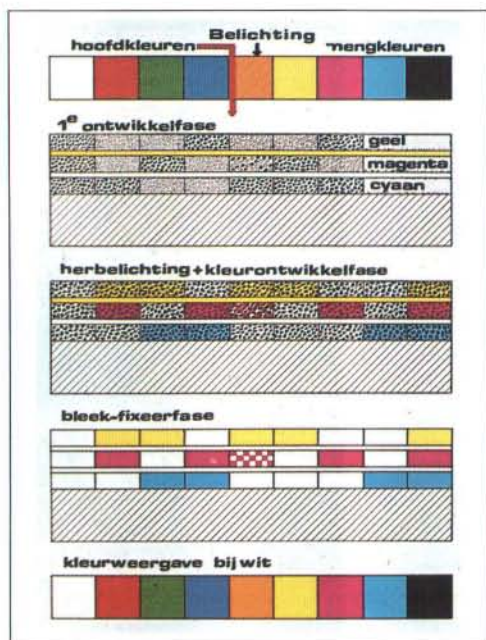
Bij zwart-witfotografie wordt, zoals hiervoor al beschreven, hydrochinon als ontwikkelaar gebruikt. In de kleurenfotografie is een soortgelijke verbinding in gebruik, namelijk een N,N-dialkyl-p-fenyleendiamine. Tijdens het ontwikkelingsproces wordt deze stof geoxydeerd tot een verbinding die equivalent is met chinon (fig. 3). Bij de oxydatie van een molecuul p-fenyleendiamine worden twee zilverionen gereduceerd. Het gevormde kation wordt wel een chinondiimine genoemd. Dit kation, dat een positieve lading op een der stikstofatomen bezit, is een elektrofiel reagens en kan reageren met een geactiveerd aromatisch systeem of met een stof die een geactiveerde methyleengroep ($-\text{CH}_2-$) bevat. Dit reactieve vermogen van het chinondiimine wordt gebruikt om de kleurstoffen in de verschillende lagen te vormen. Acetoacetanilide reageert in de blauwgevoelige laag tot een gele kleurstof; een 3-amino-1-arylpirazol-5-on resulteert in een magenta kleurstof en een 1-naftol levert in de roodgevoelige laag de cyaan kleurstof (zie fig. 4A). De vervolgoxydatie van het condensatieproduct vraagt wederom twee molekulen AgHal, zodat in totaal voor de vorming van een kleurstofmolecuul vier molekulen AgHal nodig zijn.

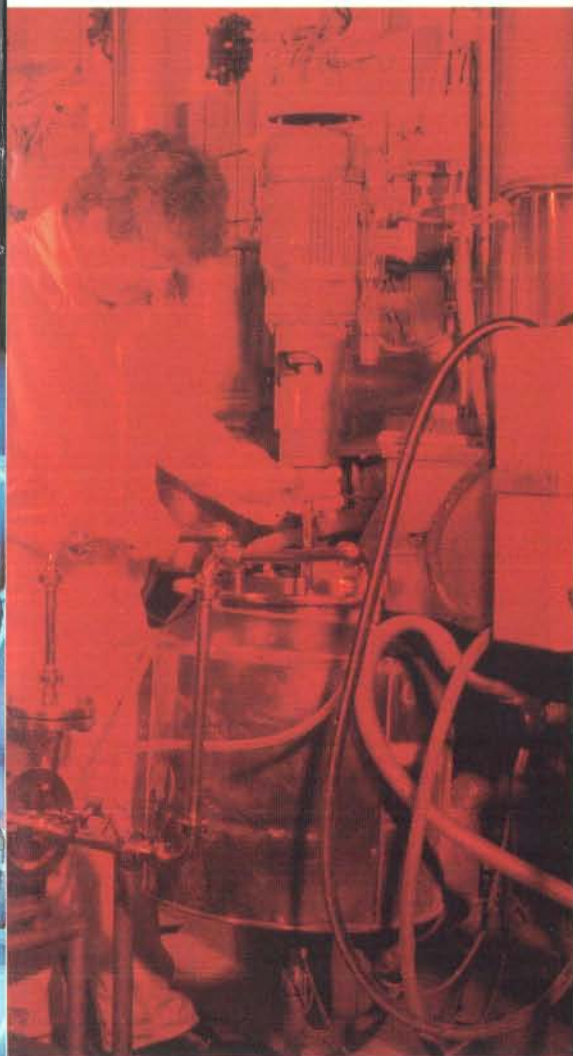
De kleurstoffen, welke in de praktijk gebruikt worden, zijn zwaar beproefd. Zij dienen tijdens de ontwikkeling een voldoende hoge vormingssnelheid te hebben; moeten in de gevoelige laag niet 'aan de wandel' gaan; ze moeten een maximale stabiliteit hebben en uiteraard ook de kleuren opleveren die wij ons uit de werkelijke situatie herinneren. Bovendien moeten nevenreacties zoveel mogelijk worden tegengegaan.

Een goede kleurenfilm moet aan nog een aantal, daarmee samenhangende eisen voldoen: de deeltjesgrootte en -verdeling van de zilverhalogenidegrains en de kleurstoffen moet niet teveel van elkaar afwijken; de gelatinelaag moet consistent van samenstelling zijn; de sensitiser moet precies de juiste eigenschappen hebben en de ontwikkelchemicaliën moeten geen storende reacties bewerkstelligen. Al deze eisen maken de kleurenfilm tot een zó complex chemisch geheel dat de gebruikte chemicaliën onderling structureel op elkaar zijn afgesteld. Een set kleurstoffen kan zo bijvoorbeeld al erg

ingewikkeld worden. Een voorbeeld is de set van het Kodacolorproces die commercieel in gebruik is (fig. 4B).

Dit is slechts één voorbeeld uit vele mogelijke combinaties. Door veranderingen van de moleculaire structuur kunnen de eigenschappen van kleurstoffen veranderd worden. De keuze hangt vaak af van verschillende factoren: 'net iets beter' telt mee; niet eerder beschreven in patenten is belangrijk, terwijl soms ook een wijziging van het verwerkingsproces van de film weer consequenties voor de stoffen





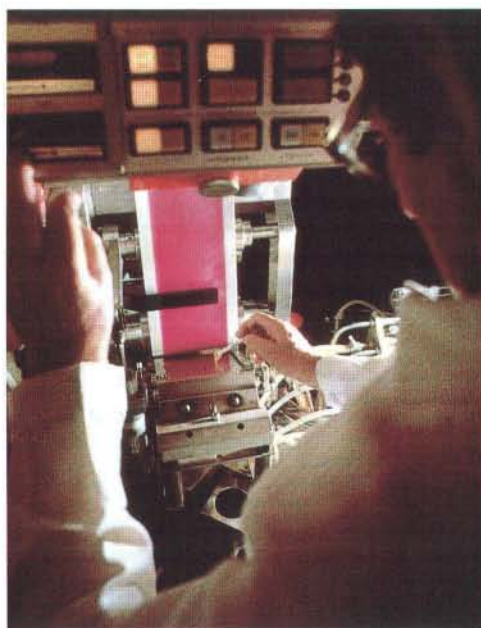
Linksboven: De opeenvolgende stappen die een diafilm bij belichting en het ontwikkelproces doorloopt.

Links: Het verschil tussen diapositief- en negatiefilm gedemonstreerd aan een kleurproef op de ontbijttafel.

Boven: Vele duizenden emulsies worden jaarlijks in de proeffabriek uitgetest. Op de foto een menging voor kleinere partijen emulsies.

Rechtsboven: De emulsie-onderzoekers bij Agfa beschikken over machines die kleine partijen film fabriceren. Deze gietmachine kan zes lagen op een film van 4,5 m lang en 16 cm breed aanbrengen.

in de film kan hebben. Het zal duidelijk zijn dat het moeilijk is, gezien het grote aantal mogelijkheden, om tot een verantwoorde keuze van de verschillende componenten te komen. Er zijn al vele combinaties gebruikt en ook thans nog verschijnen in de vakliteratuur met de regelmaat van de klok nieuwe combinaties. Een van de belangrijkste nadelen van de gebruikte kleurstoffen is hun vrij beperkte stabiliteit. Met name de cyaan-kleurstoffen zijn gevoelig voor de inwerking van licht, waarbij complexe fotochemische oxydatie-reductie-



reacties optreden. De magenta-kleurstoffen zijn bijzonder gevoelig voor de inwerking van water in aanwezigheid van alkali. Aangezien gelatine altijd water bevat, is deze reactie kansrijk. De hydrolyse van de magenta-kleurstoffen is, zeker in de wat oudere foto's, zeer aanzienlijk te noemen. De gele kleurstoffen zijn, in tegenstelling tot de cyaan- en magentakleurstoffen, redelijk stabiel te noemen. Wanneer al een van de kleurstoffen in meer of mindere mate omgezet is, dan wordt de kleurbalans verstoord, wat meteen een storende verandering geeft.

Instant-fotografie

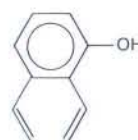
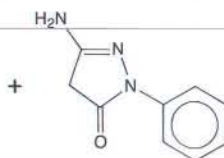
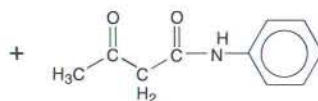
Eén van de nadelen voor de amateurfotograaf, maar soms ook voor de professional, is het feit dat men soms vrij lang moet wachten voordat het resultaat beschikbaar is. Wanneer de amateurfotograaf graag snel zijn plaatjes wil zien, of de professional een indruk wil krijgen voor hij een definitieve opname maakt, dan biedt instant-fotografie een bijzonder bruikbare oplossing. Het eindresultaat van de instant-fotografie is nog verre van perfect. De opnamen zijn bijvoorbeeld niet bruikbaar om in tijdschriften gereproduceerd te worden. De instant-fotografie is zeer makkelijk in gebruik, er zijn maar een paar handelingen nodig. Des te ingewikkelder is echter het proces van de beeldvorming.

De eerste commerciële zwart-wit instant-films dateren uit de periode direct na de Tweede Wereldoorlog. Uitvinder Land van Polaroid wordt nog steeds vereenzelvigd met de instant-fotografie.

Het zwart-witproces is nog steeds in principe gelijk aan het oude Polaroid-proces. De instant-kleurenfotografie heeft daarentegen een stormachtige ontwikkeling ondergaan.

De eerste instant-kleurenfilm werd in 1963 op de markt gebracht door Polaroid onder de naam Polacolor. De opvolger van deze film, Polacolor-2 kwam in 1975. Het gaat hier dus om een betrekkelijk nieuw produkt. De concurrentie van Polaroid zat echter niet stil: Kodak bracht in 1976 de PR-10 film op de markt. Na een slopende juridische patentenstrijd die Kodak afgelopen winter verloor, is Polaroid weer een van de weinige concerns dat film en camera's voor de instant-fotografie op de markt brengt. Het punt waarop Kodak de strijd verloor betrof overigens de camera. De film mocht nog verkocht worden, maar was alleen voor de gewraakte camera's geschikt. Hier zullen we het principe van het Polacolor-2-proces bespreken. In de Engelstalige literatuur wordt dit wel aangeduid als *image transfer*-proces. Het geregistreerde beeld wordt overgebracht van een belichtingslaag naar een ontvangstlaag.

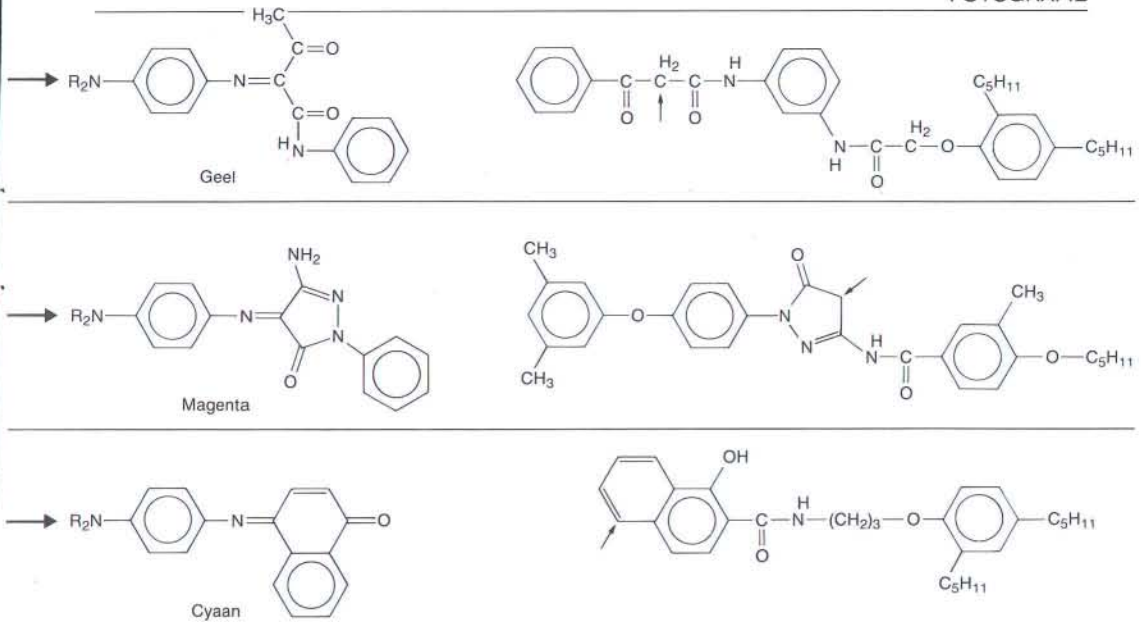
De instant-film, zoals Polaroid deze op de markt brengt, mag zonder meer een van de mooiste stukjes produkttechnologie worden genoemd. Het is dan ook spijtig te weten dat er nogal eens denigrerend over de produkten



van de instant-kleurenfotografie wordt gesproken.

De Polacolor-2-film bestaat, net als de conventionele kleurenfilm, uit verschillende lagen, maar het zijn er meer. Achtereenvolgens:

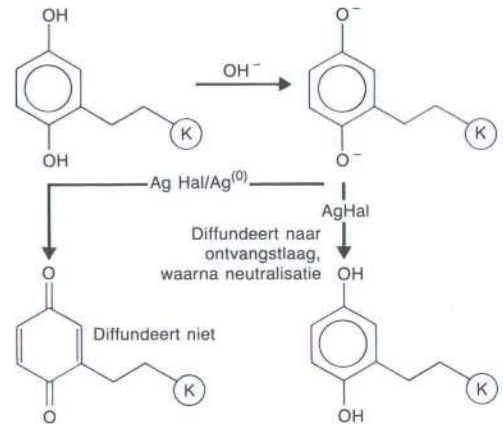
- Papierbasis
- Zuurstabilisator
- Timinglaag
- Hechtmiddel
- Ontwikkeloplossing
- Blauw-gesensitiseerde emulsie
- Gemetalliseerde gele kleurontwikkelaar
- Spacer



Boven: Fig. 4. De geoxydeerde kleurontwikkelaar reageert met kleurkoppelaars tot een geel-, magenta- of cyaankleurig molekuul. Links zijn de basisreacties weergegeven. Rechts de 'uitgebouwde' molekulen zoals die in het Kodacolor-proces in gebruik zijn. De pijlen in B geven aan waar de ontwikkelaar aangrijpt.

Links: Een kleurenfilmgietsmachine draait altijd in het stikdonker. Nauwkeurige pompjes zorgen ervoor dat iedere opeenvolgende emulsielaag, slechts enkele duizendsten millimeters dik, mooi egaal op de film wordt gespoten.

Rechts: Fig. 5. De aan de ontwikkelaar gekoppelde kleurstof diffundeert in het Polaroidproces al naar gelang de oxydatietoestand naar andere lagen in de film.



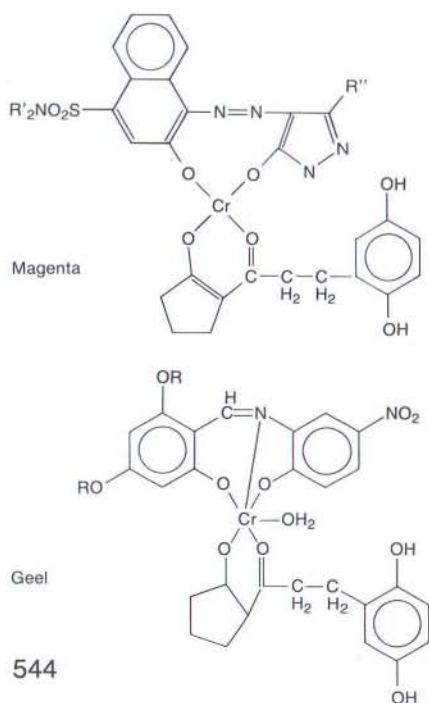
Groen-ge sensitiseerde emulsie
Gemetalliseerde magenta kleurontwikkelaar
Spacer
Rood-ge sensitiseerde emulsie
Gemetalliseerde cyaan kleurontwikkelaar
Drager

De kleurstoffen, welke in de verschillend lagen zijn opgeborgen, kenmerken zich door hun speciale structuur. Bij de eerste Polaroid-kleurenfilm zat aan de chromofore, kleurvormende groep van de kleurstofmolekulen met behulp van een alifatische keten een hydrochinogroep gebonden, die niet interfereerde met

het kleurvormend gedeelte van het molekuul. De kleurstoffen in de Polacolor-2-film zijn complexen van metaalionen en een chromofor, ook de ontwikkelaar 'hangt' daar aan. Ze zien er nogal ingewikkeld uit, maar in de praktijk is hun bereidingswijze niet al te moeilijk (zie fig. 6).

Bij belichting van de film, wanneer het latente beeld wordt gevormd, ontstaan, zoals we al van de andere processen kennen, atomen metallisch zilver in de zilverhalogenide grains in de lagen die gesensitiseerd zijn voor de drie delen van het kleurenspectrum. De foto wordt

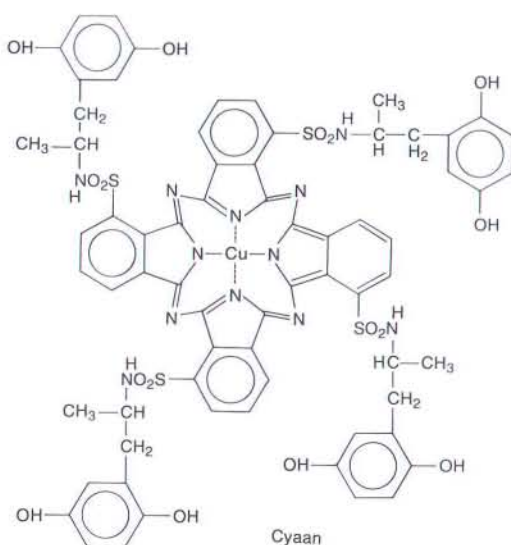
nu door een walsje getrokken, waarbij een ontwikkeloplossing, die zich in een capsule bevindt, wordt vrijgemaakt. Deze capsule zit tussen de ontwikkellaag en de ontvangstlaag en is in de uiteindelijke foto nog steeds goed waarneembaar. De ontwikkeloplossing, die redelijk visceus of stroperig is, bevat in hoofdzaak geconcentreerde alkali. Wanneer deze alkalische oplossing nu in contact komt met de onderliggende kleurstofbevattende lagen, zullen OH^- -ionen in die lagen diffunderen. De OH^- -ionen reageren met de kleurstofmoleculen waarbij de hydrochinon-groep wordt omgezet in het di-anion. De eigenschappen van de kleurstofmoleculen veranderen hierbij: ze zijn nu oplosbaar en zullen naar de ontvangstlaag kunnen diffunderen. Ze komen daar alleen terecht wanneer ze op weg daarheen geen belichte zilverhalogenidegrains tegenkomen. Bij zo'n ontmoeting namelijk wordt het hydrochinon-di-anion geoxideerd tot chinon en wordt het kleurstofmolekuul weer onoplosbaar. De diffusie stopt dan. Alleen op onbelichte plaatsen kan dus, samengevat, de kleurstof vrijelijk diffunderen naar de ontvangstlaag en daar het kleurbeeld vormen (zie fig. 5 en 7). Is het kleurstofmolekuul met het aanhangende hydrochinon-di-anion eenmaal aangekomen in de ontvangstlaag dan wordt het daar door zuur omgezet in het hydrochinon, waardoor het weer onoplosbaar en dus 'gefixeerd' is.

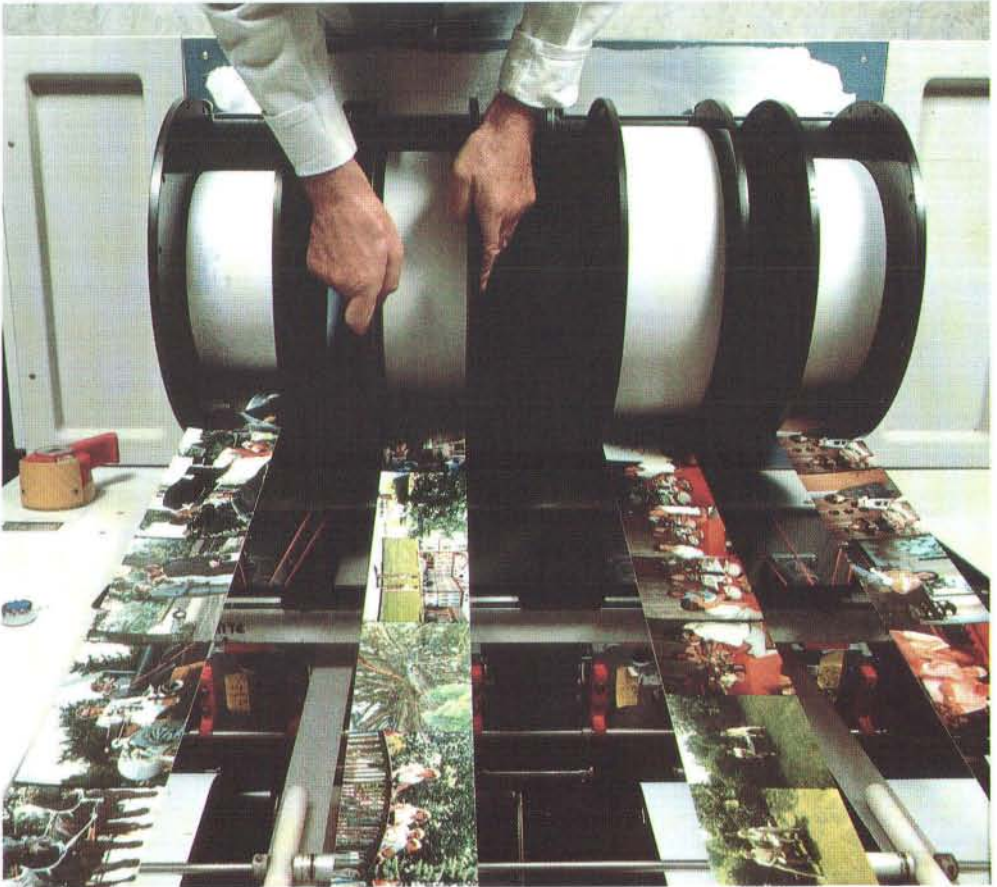


Bij het ontwerp en de productie van de film heeft men de meeste moeite gehad met het *proportioneren* van de film; het bepalen van de juiste onderlinge verhoudingen van concentraties en laagdiktes en het beheersen van transportverschijnselen, kleur en beeldscherpte.

De Polacolor-2-film onderscheidt zich van Polacolor-1, vanwege het feit dat de kant waar bij de belichting het licht invalt dezelfde is als de uiteindelijke 'kijk'-zijde van de foto. Dit heeft als consequentie dat het gedeelte van de film waarin zich het zilverhalogenide bevindt na belichting moet worden afgesloten voor licht. Daartoe zijn in de alkalische ontwikkeloplossing ook nog titaandioxide en indicatorkleurstoffen opgenomen. Het titaandioxide fungeert daarbij als een 'perfect' wit pigment, terwijl de indicatorkleurstof (een trifenylnmethaan kleurstof) in alkalisch milieu sterk gekleurd is en geen licht meer doorlaat.

De film is, zoals hierboven aangegeven, in principe opgebouwd uit 14 lagen. In de praktijk komen er daar nog enkele bij. Het geheel heeft dan een dikte van nog geen millimeter. Dit geeft wel aan welk een geweldig stuk technologie er achter dit proces zit. Behalve de problematiek die men met de gebruikelijke kleurenfilms heeft, komt hier nog eens een bijzonder ingewikkeld diffusieproces bij. Instantkleurenfotografie is zonder meer een van de betere smaakmakers uit de chemie.





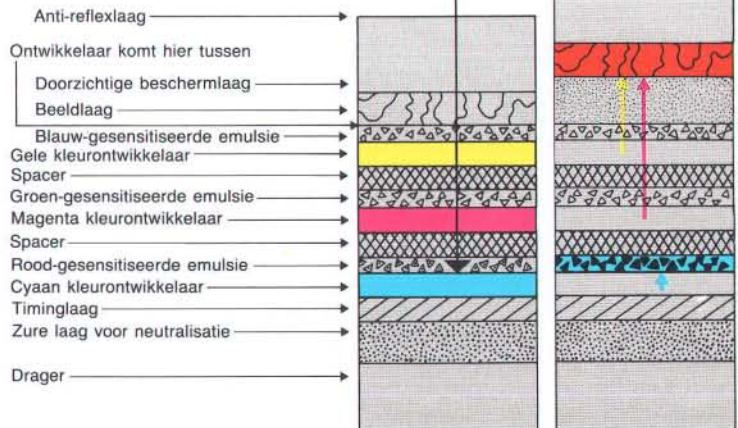
Links: Fig. 6. De gemetalliseerde kleurstoffen die Polaroid gebruikt hebben ingewikkelde structuren. De aangekoppelde ontwikkelaar is soms al moeilijk te vinden.

Boven: De ontwikkelcentrales zijn de laatste jaren vergaand geautomatiseerd. Hier rollen de vakantiekiekjes uit de machine.

Rechts: Fig. 7. De gebeurtenissen bij belichting (A) en ontwikkeling (B) in de moderne Polaroid-SX70-instant-kleurenfilm.

Opbouw en werking van Polacolor film

- △ Onbelicht zilverhalogenide
- ▲ Belicht zilverhalogenide
- ▲ Ontwikkeld zilver



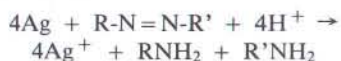
Het zilverbleekproces

In de besproken technieken van kleuren-fotografie wordt steeds een kleurstof gevormd in het filmmateriaal. Het zilverbleekproces werkt op een andere manier. Daarbij maakt men gebruik van het katalytische effect van fotografisch ontwikkeld zilver op sommige kleurstoffen die in film verwerkt worden.

De Oostenrijkse chemicus Schinzel publiceerde de principes van het zilverbleekproces, Katachromie noemde hij het, al in 1905. De technologie was in die jaren nog niet ver genoeg ontwikkeld om het proces commercieel te exploiteren. Eigenlijk is het het eerste kleuren-fotografieproces. In de dertiger jaren is het verder uitgewerkt door Bela Gaspar. Deze laatste heeft eigenlijk nooit de eer gekregen die haar toekwam. Het materiaal is toen enige tijd in de Verenigde Staten op de markt geweest, maar was zeker geen succes. Ook bij Agfa in Duitsland werd een poging gedaan, maar de bedrijfspolitiek stond succes in de weg. In 1963 kondigde Ciba een nieuw materiaal aan, dat werkte op basis van het zilverbleekproces. Het had een hoge stabiliteit en een goede resolutie en kleurzuiverheid. Het produkt kwam op de markt onder de naam Cibachrome.

De chemische procesgang na de belichting van de film wijkt af vanaf de ontwikkelstap: daarna volgen de zilver-kleurstofbleek, de zilverbleek en tenslotte de fixatie.

De reactie, die aan de zilver-kleurstofbleek ten grondslag ligt, is het reduceren van azokleurstoffen tot ongekleurde produkten. Azokleurstoffen bevatten twee dubbel aan elkaar gebonden stikstofatomen die een geconjugeerd systeem vormen met een aromatisch systeem. De algemene reactie die tot ongekleurde produkten leidt is:



De waterstofionen zijn daarbij essentieel, aangezien zij in het afbraakprodukt worden opgenomen. Het tegenion van het waterstofion, een sulfaat- of sulfaminaation heeft de functie het zilverion af te vangen. De reactieprodukten zijn anilines. Op zich hebben die kleur, maar in dit sterk zure milieu zijn ze oplosbaar en kunnen uitgewassen worden.

In de praktijk is deze reactie van het bleken van de kleurstoffen bijzonder traag; daarom

wordt een katalysator aangewend die men zou kunnen omschrijven als een *electron transfer agent* (ETA). De katalysator levert elektronen aan de kleurstoffen en gaat daarbij zelf over in zijn geoxydeerde vorm (ETA-ox). In de volgende katalytische reactie wordt ETA-ox gereduceerd door het bij de ontwikkeling ontstane zilver. De ETA-ox verbindingen zijn meest phenazine-derivaten.

De werking van het proces is verder een eenvoudige fixatiestap met natriumthiosulfaat, daarna kan de foto verder worden afgewerkt.

De laagopbouw van de Cibachromefilm is vergelijkbaar met een normale kleurenfilm, waarbij de kleurstoffen reeds in de lagen zijn ingebracht. Het betreft hier uitsluitend azokleurstoffen.

Van belang is dat de in de lagen aanwezige azokleurstoffen licht afvangen, dat normaal voor de vorming van het latente beeld dient. Daardoor zijn de films weinig gevoelig. Het materiaal is eigenlijk alleen geschikt voor copieren.

Bijzondere fotografische technieken

Behalve de gebruikelijke technieken, welke alle zichtbaar licht gebruiken, stelt fotografie ons ook in staat 'dingen' zichtbaar te maken, welke wij normaal niet kunnen waarnemen. Deze technieken zijn niet zo algemeen bekend, en de toepassing ligt vaak op wetenschappelijk, medisch of militair vlak. Ze zijn meestal slechts zeer beperkt toegankelijk voor de amateur.

Infraroodfotografie

Zoals al eerder is beschreven is het zilverhalogenide slechts gevoelig voor een beperkt deel van het spectrum van het zichtbaar licht. In het gebied der infraroodstraling, dat grenst aan de 'rode kant' van het spectrum, is het zilverhalogenide in het geheel niet gevoelig. Er zijn echter sensibilisatoren ontwikkeld die het zilverhalogenide wel gevoelig maken voor infrarode straling. Men kan met behulp daarvan het materiaal gevoelig maken tot straling van een golflengte van 1300 nm. Om een zuivere infraroodopname te maken plaatst men een filter voor de lens die het zichtbare licht niet doorlaat. Het resultaat dat men waarneemt is dus niets ander dan een foto die met 'onzichtbaar licht' is genomen. Aangezien ieder object

in onze directe omgeving behalve zichtbaar licht ook specifiek infraroodstraling absorbeert, zal dus ieder object zijn karakteristieke weergave hebben, die wij normaal niet kunnen waarnemen. We kunnen hiervan profiteren bij het opsporen van vervalsingen van documenten, opsporen van ziekten welke zich manifesteren aan de buitenzijde van het lichaam en het vinden van strategische doelen. Infraroodfotografie heeft ook ruime toepassing in de meteorologie, aangezien infraroodstraling veel minder wordt verstrooid dan zichtbaar licht en dus in mistgebieden een veel groter doordringend vermogen heeft.

Ultravioletfotografie

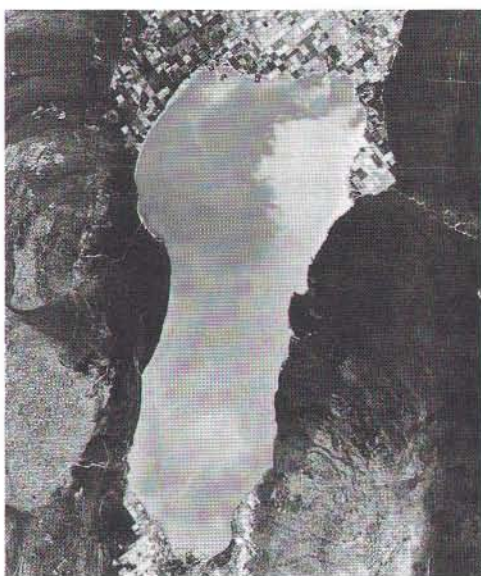
Ultravioletstraling kunnen wij doorgaans met het blote oog niet waarnemen, maar de fotografische emulsie, zelf gevoelig voor blauw licht, is ook gevoelig voor het aangrenzende ultraviolette gebied. In een fotografische film is daarom meestal een ultravioletfilter ingebouwd. Ultravioletgevoelige film is dus vrij makkelijk te maken door het filter en eventueel de sensitizers voor het zichtbare licht weg te laten. Voor golflengten lager dan 330 nm is echter ook de gebruikelijke apparatuur met normale lenzen niet meer bruikbaar: het gebruikte glas absorbeert die ultravioletstraling. In de optiek moet dan kwarts worden ge-

bruikt. Bovendien begint in dit gebied ook de gelatine straling te absorberen, zodat films met een laag gelatinegehalte gebruikt moeten worden.

Het feit dat gegevens verkregen worden waarover wij normaal niet kunnen beschikken, kan bijzonder nuttig zijn. Men denke ook hier aan medische (huidziekten e.d.), militaire (gecamoufleerde objecten) en juridische (ervalsingen, misdrijven) toepassingen. Gezien de korte golflengte neemt het scheidend vermogen in de microscopie toe wanneer UV-licht wordt gebruikt. Bij microfotografie wordt dan ook vaak UV-film gebruikt.

Uiteraard kunnen door een lagensysteem op de film aan te brengen arbitraire kleurcomponenten worden ingebouwd. De kleurweergave in de uiteindelijke foto heeft dan echter weinig meer te maken met de kleuren zoals we ze in zichtbaar licht waarnemen. Dit geldt evenzeer voor de infraroodfotografie.

Voor straling korter dan 200 nm zijn heel bijzondere voorzorgsmaatregelen nodig. Deze straling wordt reeds door zuurstof uit de lucht geabsorbeerd. De zuurstof ioniseert zelfs bij voldoende korte golflengte. Fotografie die van deze golflengten gebruik wil maken, alleen wetenschappelijke toepassingen zijn hier bekend, wordt uitgevoerd in vacuüm. De huidige ondergrens ligt bij ongeveer 20 nm.



Links: Het Saltonmeer in Californië vanuit de lucht enkele keren gefotografeerd met zwart-witfilm die voor steeds andere golflengten gevoelig was. De resulterende negatieven zijn gebruikt om deze afdruk te maken. Daarop is bijvoorbeeld het verschil tussen water dat veel (licht) en weinig (donker) sedimenten bevat zeer goed te zien.

Literatuur

- Brand, H.M. en Mooij, T.H., (1984). *Kleurstoffen, het oog wil ook wat*. Natuur en Techniek, 52, 6 pag. 434-453.
James, H.T. (ed.), (1978). *The theory of the photographic proces. (fourth edition)*. Macmillan, New York.

Bronvermelding illustraties

- Bayer AG, Leverkusen, Westduitsland: pag. 532-533, 536, 537, 538, 540-541, 542, 545 (boven).
Kodak Nederland, Odijk: pag. 540.
Polaroid Nederland BV, Maarssenbroek: pag. 545 (onder).
NASA-foto: pag. 547.



H. van de Stadt
*Sterrekundig Instituut
Rijksuniversiteit Utrecht*

OPTISCHE TELESCOPEN

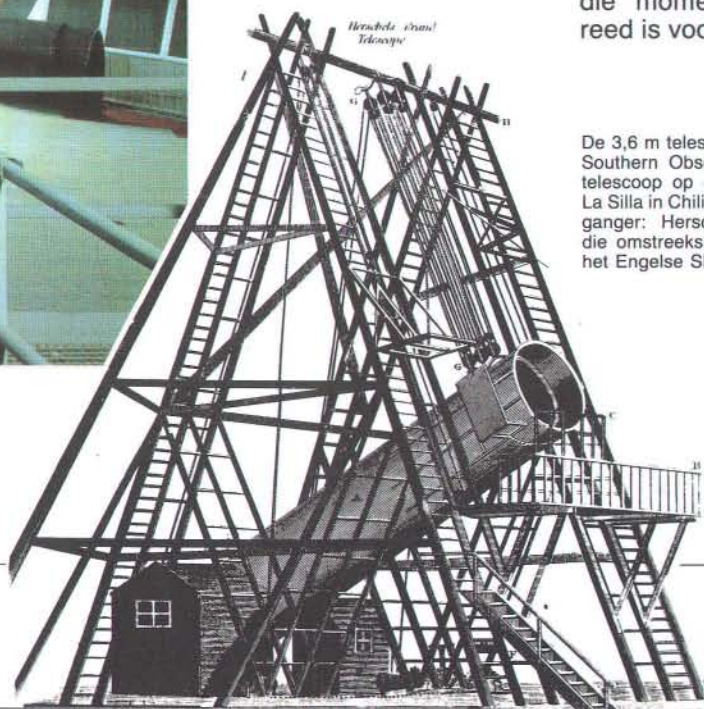
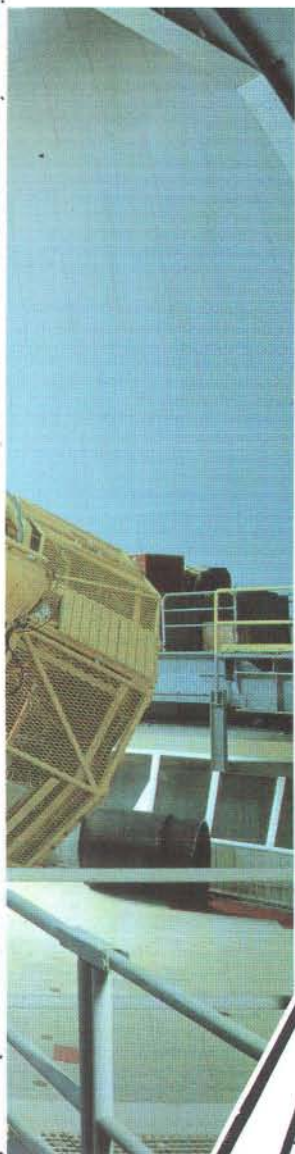
350 Jaar de blik op oneindig

In 1608 was Hans Lippershey brillenslijper in Middelburg. Het verhaal gaat dat zijn twee kinderen met lenzen speelden en op een zekere dag bij toeval ontdekten dat je twee lenzen zó kon houden dat de weerhaan van de kerk veel groter werd dan normaal. Vader herhaalde het experiment en begreep direct het grote belang van deze ontdekking. Hij monteerde de twee lenzen in een buis en toonde zijn 'instrument om

op afstand te zien' op 2 oktober 1608 aan vertegenwoordigers van de Staten Generaal. Er bestond direct grote belangstelling voor. De Nederlanden bevonden zich nog in de 80-jarige oorlog en Prins Maurits had veel belangstelling voor het instrument, dat *polemoscoop* werd genoemd.

In dit artikel wordt de ontwikkelingsgang van de optische telescoop beschreven. Vanaf het prille begin tot aan de geavanceerde Hubble Space Telescope die momenteel bijna gereed is voor zijn ruimtereis.

De 3,6 m telescoop van het European Southern Observatory is de grootste telescoop op de 'Sterrenkijkers'-berg La Silla in Chili. Rechtsonder een voorganger: Herschels spiegeltelescoop, die omstreeks 1790 in bedrijf was in het Engelse Slaugh.

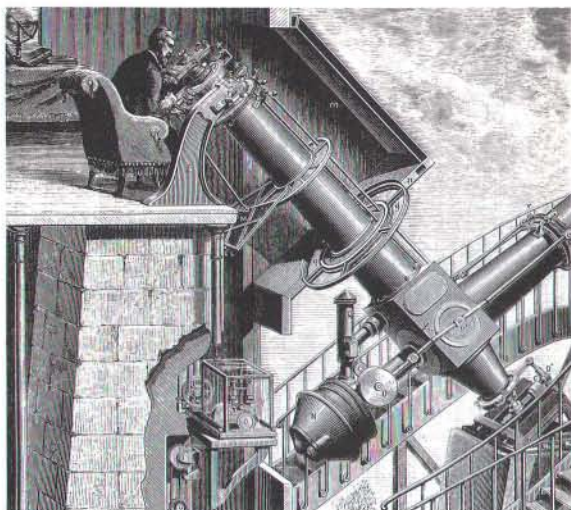


Hans Lippershey kreeg f 900,- voor zijn instrument. Maar hij kreeg niet het door hem gevraagde patent, omdat ook andere Nederlanders tegelijkertijd aanspraak maakten op deze uitvinding.

Eén van hen was Zacharias Jansen, eveneens brillenslijper in Middelburg. Diens zoon zei dat zijn vader de uitvinding in 1590 deed, maar anderen dateren haar op 1611 of 1612. Jansen had een wat onbetrouwbare aard, wat bleek uit het feit dat hij zich behalve met brillenslijpen ook wel met valsemunterij bezighield. Zolang de oorlog met Spanje duurde was dat wel goed, maar toen hij er daarna mee door bleef gaan werd hij veroordeeld tot onderdompeling in kokende olie. Hij ontkwam aan het vonnis door naar het buitenland te vluchten.

In 1610 was de uitvinding reeds zo algemeen bekend, dat telescopen te koop waren in Parijs, Frankfort, Padua en Londen. De naam *telescoop* schijnt het eerst gebruikt te zijn door Galilei, die in mei 1609 van het bestaan van het instrument hoorde. Spoedig daarna had Galilei in zijn woonplaats Padua zelf een telescoop geconstrueerd, die hij gebruikte voor het bekijken van de sterrenhemel. Hij zag waarschijnlijk als eerste mens dat de maan een ruw, bergachtig oppervlak had, dat de planeet Jupiter zich als een ronde schijf vertoonde met vier manen er omheen en dat Venus schijngestalten bezat. Zijn publikatie 'Siderius Nuncius' (sterrenbode) veroorzaakte in mei 1610 sensatie in de hele wereld. Galilei beschreef aanvankelijk de pure waarnemingen, zonder enige verwijzing naar Copernicus' ideeën over een heelal waarin niet de Aarde, maar de Zon het middelpunt was. Later zou hij echter toch in moeilijkheden komen met de Kerk.

De beroemde wiskundige en natuurkundige Christiaan Huygens sleep rond het jaar 1650, samen met zijn broer Constantijn, zijn eigen lenzen in zijn Draeycamer in het huis Hofwyck bij Voorburg, tegenwoordig gelegen ten zuiden van de drukke snelweg tussen Utrecht en Den Haag, direct na het hypermoderne verkeersknooppunt bij Leidschendam. In de tuin van Hofwyck had Christiaan Huygens zijn *luchttelescoop* opgesteld, indertijd nog ongehinderd door verstrooid licht van de stadsverlichting of trillingen en uitlaatgassen van het verkeer. Hij gebruikte lenzen met een zo klein mogelijke brandpuntsafstand om de nadelige



gevolgen van de kleurfout zo klein mogelijk te houden. Het zou nog een eeuw duren voordat men ontdekte hoe de kleurfout door gebruik van twee verschillende glassoorten kon worden opgeheven. Aanvankelijk maakte hij telescopen met een lengte van 12 voet, later wel van 123 voet. Let wel, dat waren Rhijnlandse voeten van 31,4 cm.

De bekendste uitvinding van Huygens is het slingeruurwerk. Daarnaast deed hij diverse sterrenkundige ontdekkingen met zijn telescoop. In 1655, op 26-jarige leeftijd, publiceerde hij zijn ontdekking van Titan, de grootste maan van Saturnus. In dezelfde publikatie kondigde hij ook zijn oplossing van het probleem van de uitsteeksels van Saturnus aan. In die tijd waren uitstulpingen van de planeet door verschillende waarnemers op verschillende wijze beschreven. Huygens poneerde dat Saturnus "door een ring wordt omgeven, dun, plat, niet met de planeet zelf samenhangend en onder een hoek met het eclipticavlak". Hij publiceerde deze ontdekking echter in een soort geheimschrift, een anagram, omdat hij eerst nog verder wilde nagaan of zijn veronderstelling juist was, zonder dat iemand anders intussen de ontdekking zou kunnen opeisen. Zijn publikatie luidde: *aaaaaaa ccccc d eeeee g h iiii llll mmmmmmmmm oooo pp q rr s tttt uuuuu*. Huygens publiceerde in het Latijn en hij gaf in dit anagram in alfabetische volgorde het aantal letters van de boven reeds vermelde



Linksboven: Een comfortabele telescoop in de vorige eeuw in een Parijs' observatorium.

Boven: Zo wellicht toonde Galileï in het begin van de 17^e eeuw enkele manen van Jupiter aan senatoren van Venetië.

Links: Christiaan Huygens zoals hij de bankbiljetten van 25 gulden sierde die tussen 1956 en 1978 in omloop waren. Zijn landgoed Hofwijck is afgebeeld en enkele planeten.

tekst, die in het Latijn luidde: *annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato*. Vier jaar later, in 1659, onthulde Huygens het onopgeloste raadsel.

Metalen spiegels

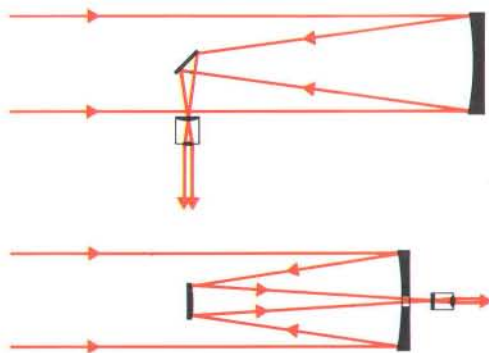
De eerste telescopen hadden een vrij slechte beeldkwaliteit, die voornamelijk moet worden toegeschreven aan de kleurfout, of *chromatische aberratie* van de toenmalige lenzen. Onder chromatische aberratie van een lens wordt eigenlijk een tweetal verschillende beeldfouten verstaan (fig. 3). Ze zijn het gevolg van de variaties van de brekingsindex van glas met de kleur van het licht: blauw licht buigt sterker af dan rood licht. Daardoor is er verschil in brandpuntsafstand en in vergroting. In een achromatisch doublet zijn beide fouten opge-

heven. De beroemde Engelse natuurkundige Isaac Newton realiseerde zich als eerste dat afbeeldingen, die met holle spiegels worden gemaakt, geen enkele last hebben van kleurfouten. Hij deed zijn beroemde optische experimenten, waarop hij zijn theorie van het licht baseerde, toen hij als 23-jarige student in 1665/1666 in een landhuis in Woolsthorpe, Engeland, verbleef om de pest te ontlopen, die in zijn woonplaats Cambridge heerste. Hij kwam tot de conclusie dat achromatiek, dat wil zeggen afwezigheid van kleurfout, bij lenzen niet bereikt kon worden. Dit baseerde hij op zijn achteraf foutief gebleken veronderstelling dat twee eigenschappen van glas, namelijk refractie en dispersie een vaste verhouding zouden hebben. Door deze gedachte kwam Newton in 1671 ertoe om een metalen spiegel te gebruiken voor de bouw van een telescoop.

Newton maakte zijn spiegels van een mengsel van koper en tin met arsenicum. Bijna twee eeuwen was dit de basistechniek voor de fabricage van telescoopspiegels, totdat in 1856 door het werk van Foucault het chemisch verspiegelen van glas in zwang kwam.

Metalen spiegels kunnen niet zo fijn gepolijst worden als glazen spiegels. Bovendien verweert het oppervlak vrij snel, waarna het steeds opnieuw gepolijst moet worden, terwijl het metaal ook nog hinderlijk gevoelig is voor temperatuurvariaties. Niettemin werden de fabricagetechnieken steeds verder vervolmaakt, aanvankelijk door Herschel, de Engelse 'Royal astronomer' in de jaren 1780, en later door William Parsons, de derde graaf van Rosse, wiens zoon later medeoprichter was van het bekende optische bedrijf Grubb-Parsons. Steeds groter werden de spiegels en in 1842 wordt onder leiding van Parsons het gloeiend-hete, vloeibare metaal gegoten in een grote, voorverwarmede gietvorm van 180 cm diameter (72 duim in de toen gebruikelijke eenheden). Om het eerder veelvuldig opgetreden breken van het metaal tijdens het afkoelen te voorkomen, liet men de hete gietvorm in een grote oven zeer geleidelijk over een periode van 16 weken afkoelen. Het slijpen en polijsten duurde daarna nog eens enkele maanden.

De vrij lage reflectiecoëfficiënt van de toenmalige metalen spiegels en de andere reeds genoemde nadelen maakten echter dat in het midden van de vorige eeuw een lenzenkijker, refractor genaamd, verre te prefereren was boven een spiegelkijker.



Boven: Op de berg La Silla in Chili zijn op 2400 m hoogte zeven telescopen met een spiegeldiameter groter dan 1 m en zes kleinere telescopen in bedrijf. Te zamen vormen ze het European Southern Observatory.

Linksboven: Fig. 1. De stralengang in de eerste spiegeltelescoop zoals Newton hem in 1671 bouwde.

Linksonder: Fig. 2. Cassegrain verbeterde Newtons ontwerp door een bolle secundaire spiegel te introduceren.

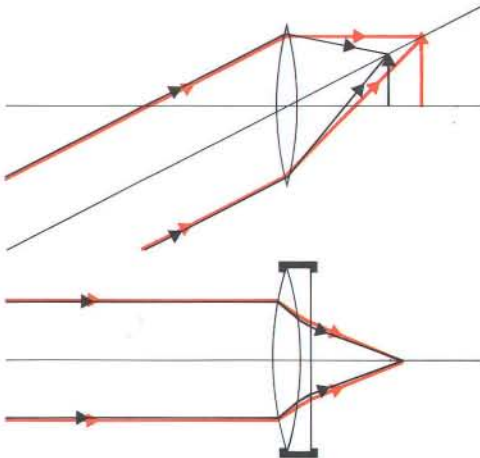
Rechts: Fig. 3. Chromatische aberratie houdt in dat blauw licht sterker wordt gebroken dan rood licht. De oplossing van de daardoor veroorzaakte beeldfouten werd bereikt door lenzen van twee verschillende glassoorten in een achromatisch dublet te monteren. Er wordt dan een bolle lens van kroonglas gekit tegen een holle, negatieve, van flintglas. In flintglas treden veel grotere verschillen in de brekingsindex voor verschillende kleuren op.

Achromatische lenzen

De eerste achromatische lenzen werden in 1729 gemaakt door Chester Moor Hall, een Londense advocaat, die in zijn vrije tijd met optiek experimenteerde. Hij gebruikte een positieve lens van kroonglas met geringe dispersie en een negatieve van flintglas met grote dispersie om twee lenzen te maken, die samengekit een doublet vormden zonder kleurfout. Hij maakte zijn techniek niet bekend, maar in 1758, dus bijna 30 jaar na zijn uitvinding, werd het geheim ontdekt door John Dollond, toen hij een glasleverancier bezocht en enkele voor Hall bestemde stukken glas zag liggen. Dollond publiceerde het principe van het achromatische doublet. De Royal Society eerde hem daarop met de zeer belangrijke Copley medaille.

Na het bekend worden van de constructiemethode van achromatische lenzen nam de belangstelling voor het fabriceren van steeds grotere lenzen toe. Het grootste probleem daarbij was niet zo zeer het slijpen en polijsten van grote oppervlakken, tenslotte was men al gewend aan het bewerken van vrij grote metalen spiegels. Het grote probleem was de inhomogeniteit van de toen beschikbare glassoorten. De inhomogeniteiten bestonden niet alleen uit onregelmatige verschillen in brekingsindex, maar ook uit ingesloten luchtbellens, die bij het stollen van het glas aanwezig waren. Een eenvoudig nieuw procédé leverde een grote stap voorwaarts op. Een in één keer gegoten stuk glas wordt in een groot aantal kleine stukken gebroken. Deze worden goed gemengd en in een mal gelegd, die vervolgens in een oven zo sterk verhit wordt, dat het glas smelt en een homogene massa vormt, zonder zó vloeibaar te worden dat vloeistofstromingen nieuwe inhomogeniteiten veroorzaken.

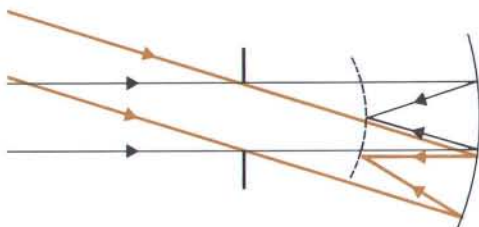
De grootste lenzentelescoop is de refractor van de Yerkes sterrewacht in Wisconsin, die in 1897 gereed kwam. De twee lenzen van het achromatische doublet zijn 40 duim (102 cm) in diameter en wegen samen 225 kg. De positieve lens heeft op de as een dikte van 6,5 cm, de negatieve lens heeft een asdikte van 3,7 cm. Grotere lenzen zouden nog dikker moeten zijn en door de dan optredende absorptie in het glas geen winst in lichtsterkte meer opleveren. En daar gaat het juist om, zoals we nader zullen toelichten.



Hoe groter, hoe mooier?

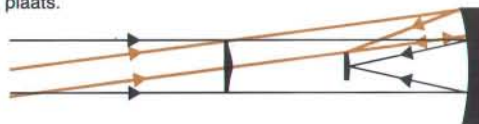
Wat zijn eigenlijk de voordelen van de steeds grotere telescopen die in de loop van de tijd zijn gebouwd? Is er een winst in oplossend vermogen? Kunnen we met grotere telescopen kleinere details waarnemen? Het antwoord is nee. De afmetingen van de kleinst waarneembare details worden namelijk bepaald door de Aardse atmosfeer: de steeds veranderende structuren in de luchtlagen veroorzaken een versmering van de sterbeeldjes ('seeing') tot vlekjes met een grootte van 1 à 10 boogseconden in hoekmaat. Eén boogseconde is het 3600ste deel van een graad, ongeveer de afmeting van een muntstuk van een gulden of 20-frankstuk op een afstand van 5 km. De mate van versmering varieert van plaats tot plaats op Aarde, maar is voor de beste plaatsen, zoals bijvoorbeeld het observatorium op Hawaii, toch nog wel 0,7 boogseconde en vaak meer.

Kunnen we dan met grotere telescopen zwakkere objecten zien? Het antwoord is ja en nee. In eerste instantie nee, omdat de helderheid van nog juist waarneembare objecten bepaald wordt door de hoeveelheid achtergrondlicht, afkomstig van verstrooide straling van de miljarden sterren en van de Aardse atmosfeer zelf. Vooral de hoogste luchtlagen dragen bij aan de achtergrondstraling. Ze worden overdag door de Zon bestraald en stralen 's nachts de opgenomen energie weer langzaam uit. De achtergrondhelderheid komt in de donkerste nachten overeen met een ster van de 22ste magnitude voor elke vierkante boogseconde. De magnitude is een maat voor de helderheid van een ster: de heldere ster Wega (Lier) heeft een magnitude nul en de magnitude-schaal is zó gekozen, dat een 100 keer



Boven: Fig. 3. Een Schmidt-telescoop is de groothoekijker onder de telescopen. Door het diafragma voor de spiegel vindt de beeldvorming uit alle richtingen op dezelfde manier plaats.

Onder: Fig. 4. De sferische beeldfout wist Schmidt op te heffen door toepassing van een asferische lens in het diafragma.



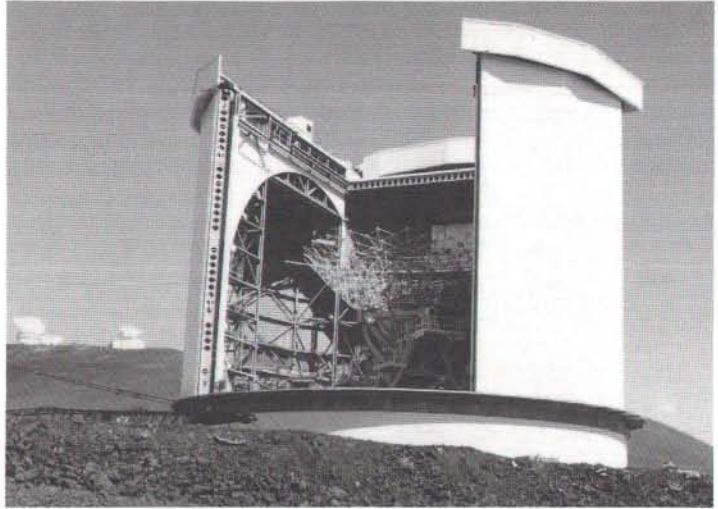
zwakkere ster 5 magnitudes 'groter' is. Een ster van de 22ste magnitude is dus méér dan 100 miljoen maal zwakker dan Wega. In de praktijk kunnen nog wel zwakkere sterren worden waargenomen door met behulp van moderne fotonentellende detectoren de achtergrondstraling af te trekken. Veel verder dan de 24ste magnitude komt men vanaf de Aarde echter niet. Dat is onafhankelijk van de grootte van de telescoop: een grotere telescoop ontvangt zowel meer sterlicht als achtergrondlicht, het contrast wordt niet groter. Maar een grotere telescoop verzamelt wel meer licht, waardoor sterren bestudeerd kunnen worden met kortere belichtingstijden. Dit is een heel groot voordeel, want waarnemingstijd is duur.

Korte belichtingstijden zijn vooral belangrijk als het niet gaat om het simpel fotograferen van sterren, maar om het onderzoek van sterspectra. Voor elk te onderzoeken bandje uit het spectrum moet voldoende straling worden ontvangen, waardoor de noodzakelijke waarnemingstijd wel enkele orden van grootte kan toenemen. Aangezien spectroscopisch onderzoek van interessante objecten (quasars, pulsars, röntgendubbelsterren, radiostelsels enz.) juist een essentieel onderdeel van de moderne sterrenkunde is, vergt dit erg veel waarnemingstijd. We zien dan ook dat er ondanks de groei van het aantal grote telescopen op Aarde nog steeds een groot tekort aan beschikbare waarnemingstijd is.



Links: De Utrechtse universiteit heeft de secundaire spiegel van de Maxwell-telescoop ontworpen en gebouwd. Op deze foto werkt elektronicus W. Smit aan de bewegingsaandrijving van de secundaire spiegel.

Rechts: Op de berg Mauna Kea op Hawaï is de technologisch geavanceerde Engels-Nederlandse submillimeter telescoop inmiddels vrijwel gereed. De primaire en secundaire spiegel zijn dit voorjaar gemonteerd. Deze foto toont nog de opbouw van de ondersteunende structuur. De telescoop zal straling van minder dan 1 mm golflengte opvangen. Dat is een interessant golflengtegebied voor het detecteren van organische molekulen in de ruimte. De Maxwell-telescoop krijgt een spiegel van 15 m diameter die bestaat uit 276 individuele panelen. Ieder paneel is afzonderlijk instelbaar om steeds een ideale spiegelvorm te kunnen verkrijgen.



Tegenwoordig zijn de grote telescopen altijd spiegeltelescopen. Spiegeltelescopen hebben enkele belangrijke voordelen ten opzichte van lenzentelescopen. Ten eerste zijn de focusseer-eigenschappen van lenzen kleurafhankelijk, terwijl de focussering door reflectie aan spiegels onafhankelijk van de kleur is. Doordat bovendien de meeste glassoorten ultraviolet en infraroodlicht absorberen, biedt een spiegeltelescoop een veel breder golflengtegebied. In de tweede plaats hoeft de homogeniteit van spiegel materiaal niet zo goed te zijn als bij lenzen, terwijl de ondersteuning veel eenvoudiger kan worden uitgevoerd. Wel is het zo dat een holle spiegel geen ideale afbeeldingskwaliteit heeft. Er zijn diverse beeldfouten, die met de namen askring, coma, beeldkromming, astigmatisme en vertekening worden aangegeven. Eén van deze fouten, de askring, kan worden opgeheven door de spiegel niet de vorm van (een deel van) een bol, maar een parabolische vorm te geven.

De spiegeltelescoop is verbeterd door Gregory en door Cassegrain. Zij gebruikten een tweede of secundaire spiegel, die het licht door een gat in de hoofdspiegel reflecteert (zie fig. 2). In de meest gebruikte opstelling volgens Cassegrain wordt een holle, parabolische hoofdspiegel gebruikt en een bolle, hyperbolische secundaire spiegel. Deze tweede spiegel zorgt ook voor vergroting van het beeld. Door het brandpunt van de parabool te laten samen

vallen met dat van de hyperbolische secundaire spiegel ontstaat een ideale afbeelding op de as van de telescoop. Naast de as neemt de beeldkwaliteit echter snel af.

Omstreeks 1929 bedacht B. Schmidt een methode om telescopen met een zeer groot gezichtsveld te maken. Zijn idee was om een diafragma rondom het kromtemiddelpunt van een grote, holle spiegel te plaatsen (zie fig. 3). Daardoor wordt de afbeelding voor elke invalrichting in principe op dezelfde manier gevormd: het gezichtsveld is in principe onbeperkt. Er zijn echter twee complicaties: de holle spiegel geeft weer de bekende askring als beeldfout. Hiervoor had Schmidt een oplossing: hij plaatste een speciaal gevormde, niet-sferische correctorlens in het diafragma (fig. 4), daardoor fungeert de rand van deze lens tevens als diafragma. De tweede complicatie is dat het beeldvlak gekromd is volgens een bol met hetzelfde middelpunt als dat van de spiegel. Dit bezwaar is niet op te heffen, maar er valt mee te leven doordat fotografische film voldoende gespannen kan worden over het bolle beeldvlak. De grootste Schmidt-telescoop is de 48 inch (120 cm) telescoop op Mount Palomar. Daar werd de gehele noordelijke sterrenhemel mee in kaart gebracht.

Het bijzondere van de Schmidt-telescoop is dat hij de twee basiselementen van telescopen: spiegels en lenzen in een nuttige samenwerking verenigt.

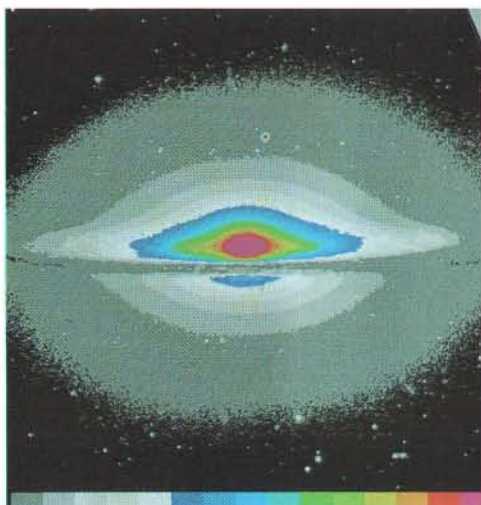
Hawaii: observatorium op een vulkaan

Aan welke eisen moet een modern astronomisch observatorium voldoen? De belangrijkste eis is dat het op een hoge berg ligt. Dit is niet alleen belangrijk omdat je dan veel kans hebt op wolkenloze dagen en nachten, maar het is ook een voordeel omdat op grote hoogte relatief rustige luchtlagen bestaan, die zo scherp mogelijke beelden geven (goede 'seeing'), terwijl de geringe hoeveelheid waterdamp nog een extra voordeel is voor het doen van infraroodwaarnemingen. De belangrijkste oorzaak voor atmosferische absorptie van infrarode straling is namelijk de waterdamp in de lucht, die echter met de hoogte boven zee-niveau zeer sterk afneemt. Waarnemingen in het nabije infrarood bij golflengten tot $30\text{ }\mu\text{m}$ en in het submillimetergebied bij golflengten groter dan $600\text{ }\mu\text{m}$ zijn alleen mogelijk vanaf hooggelegen waarnemingsstations. Voor het laatste golflengtegebied worden speciale telescopen gebouwd: millimetertelescopen.

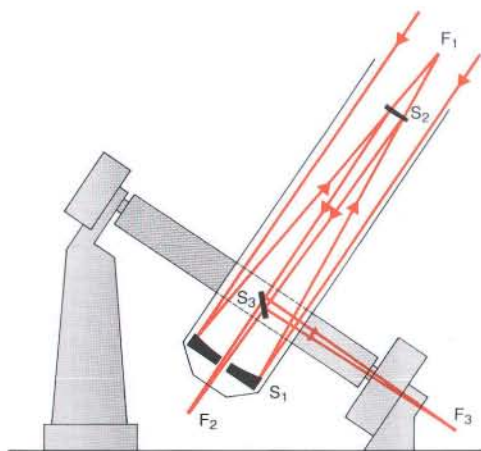
Op het eiland Hawaii, het grootste eiland van de Hawaii-archipel, midden in de Stille Oceaan, staat het modernste observatorium ter wereld, verspreid over diverse toppen van de uitgedoofde vulkaan Mauna Kea. De hoogste top ligt 4200 m boven de omringende oceaan en ondanks de nabijheid van de evenaar valt er een paar keer per jaar sneeuw, vandaar de naam Mauna Kea, die witte berg betekent in het Hawaïiaans. Er staan diverse grote telescopen en er komt nu een tweetal heel bijzondere telescopen bij: een millimetertele-scoop met 10 m spiegeldiameter van CalTech (California Institute of Technology) en een millimetertele-scoop met 15 m spiegeldiameter van de Brits-Nederlandse samenwerking: de Maxwell Telescope (MT). Bovendien komt daar nog de Keck-telescoop bij.

Keck-telescoop: crack onder de telescopen

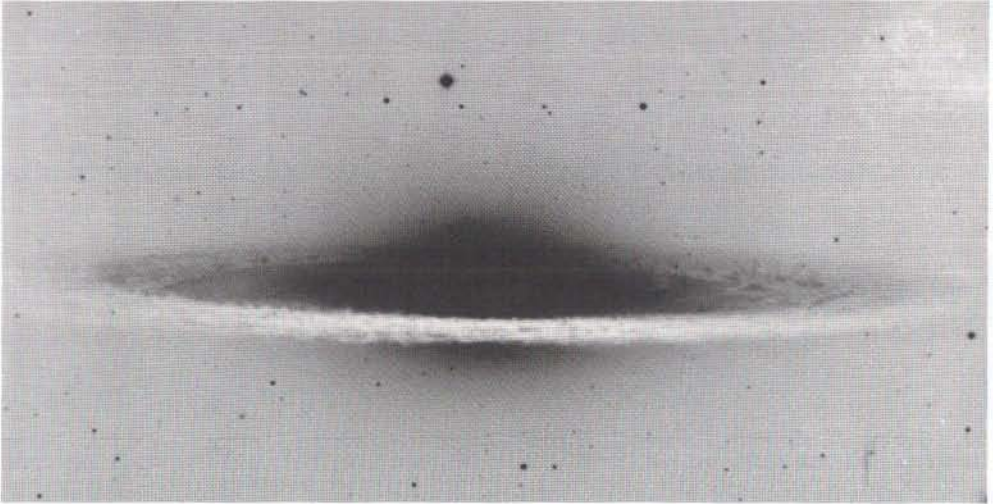
De 10 m diameter Keck-telescoop wordt door CalTech en de Universiteit van Californië op Mauna Kea gebouwd. De bouw is in december 1984 mogelijk gemaakt door een gift van de Keck Foundation van 70 miljoen dollar. De telescoop wordt genoemd naar de in 1964 overleden W.M. Keck, oprichter van de Super Oil Co. Het betreft waarschijnlijk de grootste schenking die ooit door een particu-



Boven en rechtsboven: De Sombbrero-nevel van opzij gezien door de 3,6 m telescoop. De nevel heeft veel overeenkomsten met ons Melkwegstelsel. De kern bestaat uit oude sterren, de schijf bevat veel gas, stof en jonge sterren. De zwart-witfoto is een directe opname, de gekleurde is een computerbewerking van die opname.

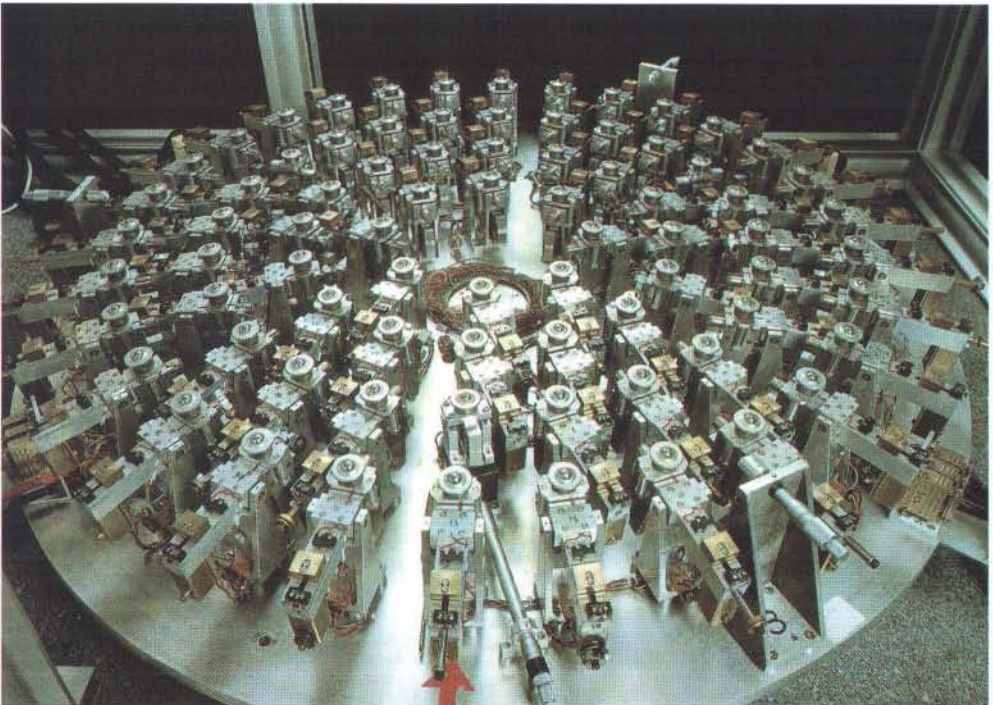


Boven: Fig. 6. In een moderne spiegeltelescoop wijkt de stralengang niet veel af van het principe dat door Cassegrain werd uitgedacht. Na de primaire en secundaire spiegel kaatst een derde spiegel de stralen precies door de holle draais naar het Coudé-focus (F3) in de grote beeldverwerkingsapparatuur. Die kan daardoor een vaste plaats krijgen op het grote platform dat in het horizontale vlak kan draaien. Ook het primaire focus (F1) en het Cassegrain-focus (F2) zijn bruikbaar.



Onder: De New Technology Telescope (NTT), een apparaat van het European Southern Observatory waar onder andere Nederland en België in deelnemen, krijgt een systeem van 'actieve optica'. De spiegel van 2 cm dikte zal ondersteund worden door vele verstelbare dragers die de spiegelvorm kunnen corrigeren.

Dat gebeurt 'in real time': een computer test voortdurend de kwaliteit van het telescoopbeeld en brengt zonedig correcties in de spiegelvorm aan. Op deze foto een verkleind testmodel van het regelsysteem dat een spiegel van 1 m kan ondersteunen. In werkelijkheid krijgt de NTT een spiegel van 3,5 m diameter.



liere stichting aan een wetenschappelijk project is gedaan. Ter vergelijking: de 5 m diameter Hale-telescoop op Mount Palomar kwam in 1948 gereed voor een bedrag van 6 miljoen dollar (tegenwoordig zo'n 20 miljoen). De Keck-telescoop heeft een viermaal groter oppervlak dan de Hale-telescoop. Dat betekent dat vier keer zoveel objecten kunnen worden waargenomen. Anders gezegd: een waarnemingsprogramma van lichtzwakke objecten, waarvoor op de Hale-telescoop (met onderbrekingen) vier jaar nodig zou zijn, zou waarschijnlijk nooit gestart kunnen worden. Op de Keck-telescoop zal het wel kunnen.

De bouw van de Keck-telescoop zal zo'n zes jaar duren en pas in 1990 beëindigd zijn. De fundering voor het gebouw wordt op dit moment op Mauna Kea gelegd en het gebouw wordt geconstrueerd met een frame dat om een verticale as (azimuth) draaibaar is. Het bevat twee lagerblokken waarin de telescoopbuis wordt opgehangen, zodat die draaibaar is om een horizontale as (altitude). Zo'n constructie heet een altazimuth-montering; de bewegende massa is ongeveer 158 ton. Direct boven de twee lagerpunten zijn zogenaamde Nasmyth platforms aangebracht (zie figuur 6) om camera's en spectrografen op te plaatsen. De uiteinden van deze platforms staan 25 m van elkaar! De telescoopbuis heeft een open raamwerk met een diameter van ruim 10 m en een lengte van 22 m. De spiegel zelf bestaat uit 36 hexagonale spiegels elk met een diameter van 1,8 m. Deze segmenten worden als in een honingraatstructuur gemonteerd: er zijn drie ringen met 6, 12 en 18 spiegels, de middelste spiegel is afwezig. Elke spiegel wordt zo licht mogelijk gemaakt en wordt op drie in hoogte instelbare ondersteuning gemonteerd. De 36 segmenten vormen samen één grote parabolische spiegel. De hoogte-instellingen kunnen zeer snel (300 keer per seconde) worden bijgesteld om tijdsafhankelijke vervormingen te kunnen compenseren. Het is een ambitieus project, zeker als men bedenkt dat de richtnauwkeurigheid van het enorme gevaarte beter dan één boogseconde moet zijn. De Keck-telescoop zal na 1990 voor vele jaren de beste en grootste optische telescoop op Aarde zijn. De toevoeging 'op Aarde' is hier belangrijk. Zijn grootste concurrent in kwaliteit, maar tevens waarschijnlijke leverancier van aanvullende gegevens, zal namelijk in de ruimte werken.



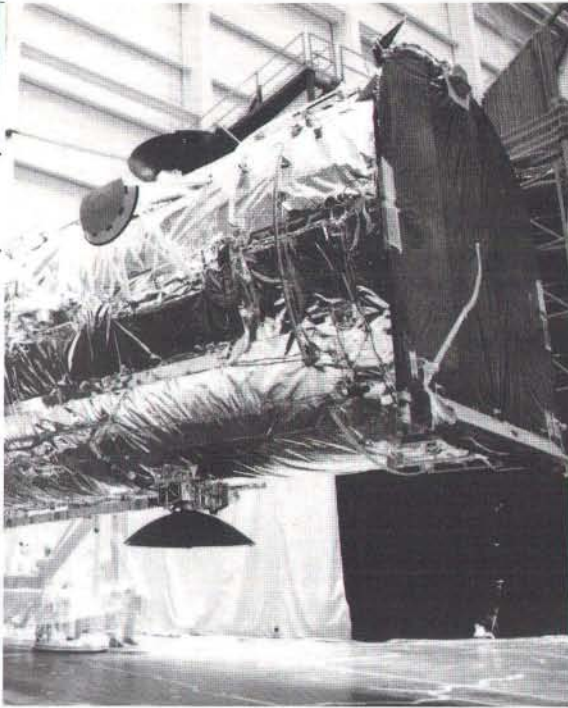
Rechts: De Hubble Space Telescope heeft voor een satelliet enorme afmetingen. Op deze foto staat hij ingepakt voor transport bij de Lockheedfabrieken.

Liever de lucht in

Optische telescopen op Aarde zijn beperkt in resolutie en in gevoeligheid. De oorzaken liggen in de Aardse atmosfeer: luchturbulenties versmeren sterbeeldjes tot afmetingen van op zijn best 0,7 à 1,0 boogseconde, terwijl lichtverstrooiing aan lichtdeeltjes een storende achtergrondverlichting geeft. De oplossing ligt voor de hand: breng een telescoop met een ruimtevoertuig buiten de atmosfeer. Om daar echt voordeel van te hebben moet het oplossend vermogen wel zo'n 0,1 boogseconde zijn (een 20-frankstuk waargenomen op een afstand van 50 kilometer). De telescoop mag dan niet te klein zijn.

Inmiddels is de Hubble Space Telescope (HST) in aanbouw. Deze telescopsatelliet krijgt een spiegel van 2,4 m diameter. De bedoeling is dat een Space Shuttle de HST in een baan om de Aarde brengt.

De grote resolutie van HST is niet alleen van belang omdat kleinere details in uitgebreide objecten bestudeerd kunnen worden (bijvoorbeeld kernen van melkwegstelsels), maar ook



omdat hiermee de hinderlijke effecten van achtergrondstraling worden onderdrukt, die buiten de atmosfeer toch al minder sterk is. HST werkt niet met gewone fotografische film voor de registratie van beelden, maar met uiterst gevoelige fotonentellende beeldversterkers, gekoppeld aan televisiebuizen. Ruwweg kunnen vijftig maal zwakkere sterren (26ste of 27ste magnitude) gedetecteerd worden dan vanaf Aarde zichtbaar zijn. Ofwel: we kunnen 7 keer verder kijken, of een 350 keer groter heelal waarnemen (aannemende dat het heelal homogeen is).

De HST is de duurste telescoop die ooit ge-

maakt werd: 1200 miljoen dollar. Hij voldoet dan ook aan de allerhoogste eisen: de spiegel heeft een superglad oppervlak, dat met een precisie van $0,013 \mu\text{m}$ de vorm van een ideale parabool benadert. De richtnauwkeurigheid en de stabiliteit van het volgmechanisme is 0,01 boogseconde. Dit kan vergeleken worden met een laserbundel die uit Amsterdam gericht zou worden op een muntstuk ergens boven Parijs. Met behulp van de Hubble Space Telescope zou je de munt niet alleen raken, maar je kan eventuele bewegingen er van ook nog volgen, als er tenminste geen atmosferische storingen waren. Aan de optische componenten heeft de firma Perkin-Elmer, die de spiegel maakte, meer dan 4 miljoen manuren besteed. Het testprogramma, dat bij Lockheed Missiles and Space Co. wordt uitgevoerd, is ongelooflijk gecompliceerd en loopt helaas wat uit zodat de geplande lancering van midden 1986 niet gehaald wordt. Als hij op tijd klaar geweest zou zijn had de vertraging in de Shuttle-lanceringen wel roet in het eten gestrooid. De minimum levensduur van HST wordt op 10 à 15 jaar geschat. In die tijd zal hij enkele malen met de Shuttle naar Aarde worden teruggebracht voor een opknapbeurt.

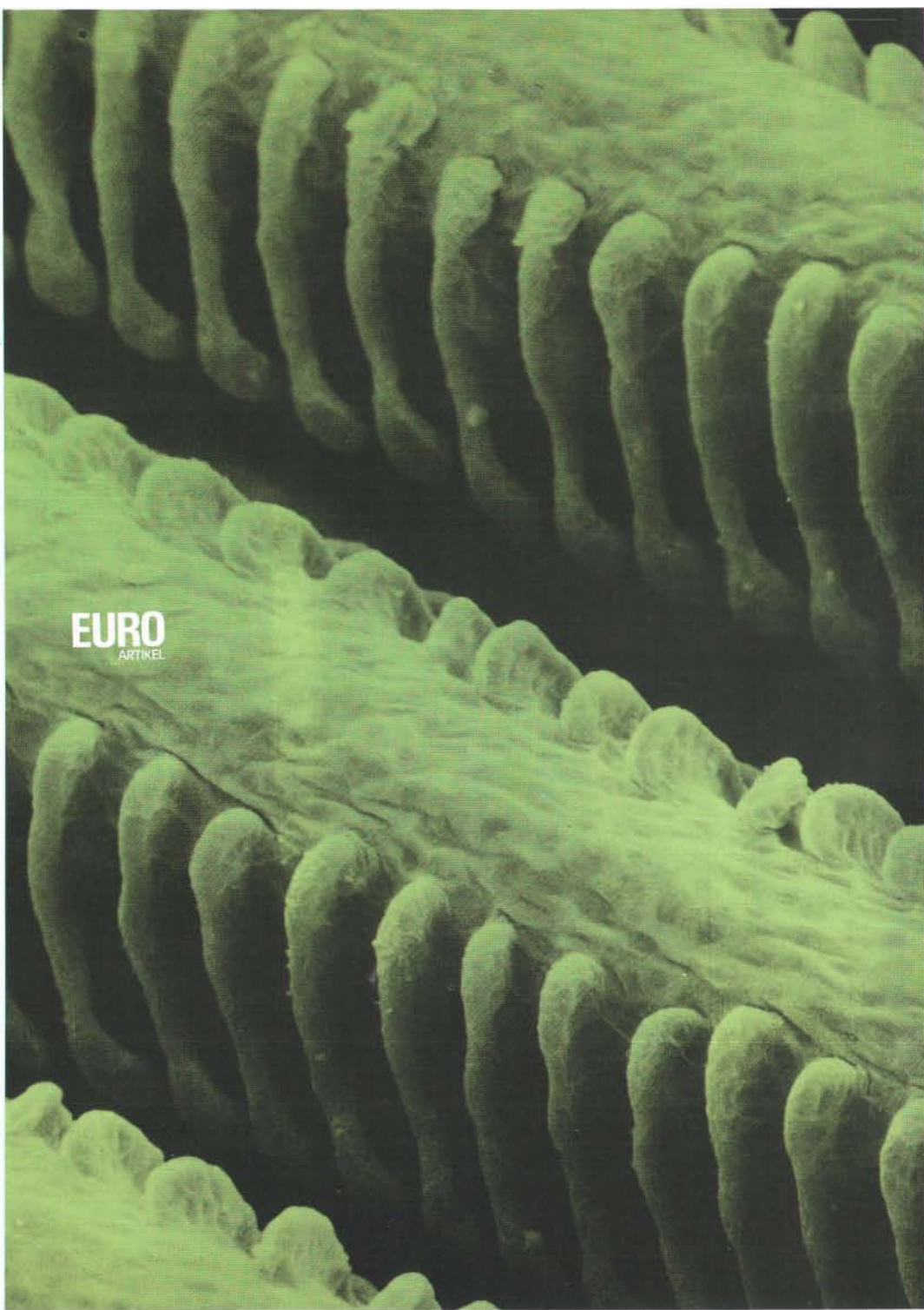
De Hubble Space Telescope en de Keck-telescoop vullen elkaar heel goed aan: door de afwezigheid van atmosferische beperkingen heeft HST een grotere resolutie, terwijl er bovendien waarnemingen gedaan kunnen worden in het ultraviolette golflengtegebied. De Keck-telescoop heeft een veel groter lichtverzamelend vermogen en kan de door HST ontdekte (zwakke) bronnen met hoge spectroscopische resolutie verder onderzoeken. Bovendien kan de Keck-telescoop in het relatief nog weinig onderzochte nabij-infrarode golflengtegebied veel bronnen bestuderen. Zonder enige twijfel gaat de sterrenkunde een heel interessante toekomst tegemoet.

Literatuur

- Grool, T. de, (1973). *Sterrenstelsels*. Natuur en Techniek, 41, 8, pag. 379-397.
 Band, B., (1978). *Sterpopulaties*. Natuur en Techniek, 46, 2, pag. 124-139.
 Verbunt, F., (1985). *Sterrenkunde in het oude China*. Natuur en Techniek, 53, 4, pag. 250-265.
 Kiers, G., (1986). *Gammatelescopen*. Natuur en Techniek, 54, 4, pag. 300-314.

Bronvermelding Illustraties

- ESO, Garching, Westduitsland: pag. 548-549, 552-523, 557.
 Nederlandsche Bank N.V., Amsterdam: pag. 551.
 Mary Evans Picture Library, London: pag. 550-551.
 Rijksuniversiteit Utrecht: pag. 554.
 Rutherford Appleton Laboratories, Chilton, Engeland: pag. 555.
 Lockheed/Busson-Marsteller BV, Den Haag: pag. 558-559.



A scanning electron micrograph showing the intricate, wavy structure of gill lamellae. The image is in grayscale, highlighting the texture and depth of the biological structures. The title text is overlaid on the left side of the image.

VISSSEN IN VERZUURD WATER

S.E. Wendelaar Bonga en

L.H.T. Dederen

Laboratorium voor Dierfysiologie

Katholieke Universiteit Nijmegen

Verzuring van het water leidt tot verstoring van de water- en ionenhuishouding van vissen, inclusief de zuur-base balans. Waarschijnlijk beschikken veel vissen over fysiologische mechanismen om deze verstoring geheel of gedeeltelijk te herstellen. Dergelijke adaptatiemechanismen, zijn succesvol op de korte termijn, maar vereisen extra energie, waardoor groei en voortplanting worden vertraagd. Naast de grote gevoeligheid van visse-eieren en -larven voor verzuring, dragen deze verschijnselen in sterke mate bij aan de afname van de visstand in verzuurd water.

Deze rasterelektronenmicroscopische opname toont enkele kieuwlamellen van de Natalbaars, die aan weerszijden bezet zijn met secundaire lamellen. De vergroting is 100 maal. De kieuw is erg kwetsbaar voor verzuring.

Inleiding

Bij verzuring van het water neemt de visstand sterk af. De soortenrijkdom vermindert, evenals de grootte van de populaties van de overblijvende soorten. Bij een zuurgraad lager dan pH 4 komen in de natuur vrijwel geen vissen meer voor. De oorzaken hiervan zijn complex. Eén ervan vormt de verstoring van het ecosysteem, hetgeen zich uit in het verminderen of verdwijnen van planten en dieren die als voedsel dienen.

Verzuring van het water heeft echter ook directe gevolgen voor de fysiologie van vissen. Dit betreft met name de water- en ionenregulatie en, in nauwe samenhang hiermee, de ademhaling, zuur-base balans, groei en voortplanting.

Uit onderzoek van de afgelopen tien jaar is duidelijk geworden dat verstoring van de water- en ionenhuishouding van vissen de belangrijkste oorzaak vormt voor de sterfte die optreedt, wanneer water plotseling verzuurt, zoals bijvoorbeeld bij lozing van zuren. De vraag kan gesteld worden of dit ook geldt voor de teruggang van de visstand bij langzaam voortschrijdende verzuring, zoals die in de natuur het meest voorkomt. Aan de fysiologische gevolgen van chronische verzuring is tot nu toe weinig onderzoek gedaan. Wel is bekend dat forellenpopulaties zich kunnen handhaven in rivieren met een zuurgraad die schadelijk, zo niet dodelijk is voor forellen die zijn opgegroeid in neutraal water. Dit verschijnsel wijst erop dat forellen zich kunnen adapteren aan verzuurd water. Uit onderzoek dat op ons laboratorium is verricht blijkt dat dit verschijnsel bij meer vissoorten kan worden waargenomen.

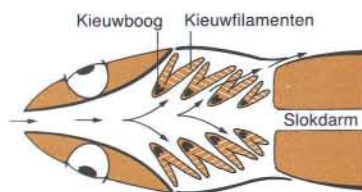


Fig. 1. Deze schematische voorstelling laat zien hoe het water door het kieuwapparaat stroomt. Het oppervlak van de kieuwen is sterk vergroot, zodat een groot oppervlak voor gasuitwisseling ontstaat.

Waardoor wordt de water- en ionenhuishouding verstoord? Wat zijn de gevolgen hiervan voor andere fysiologische processen zoals ademhaling, groei en voortplanting? In hoeverre zijn vissen in staat zich fysiologisch aan verzuurd water aan te passen? Mag op basis van dergelijke aanpassingen worden verwacht dat de visstand in verzuurde wateren zich op de lange duur weer zou kunnen herstellen? Op deze vragen zullen we hieronder ingaan.

De water- en ionenhuishouding

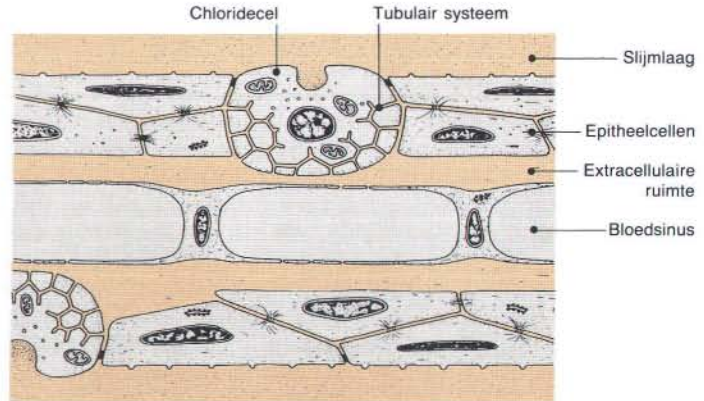
De meeste vissen zijn voor hun gaswisseling volledig aangewezen op hun kieuwen. Deze bestaan uit kieuwbogen waarop zich primaire en secundaire lamellen bevinden (zie fig. 1). In de secundaire lamellen vindt de eigenlijke gaswisseling plaats. Ze zijn plaatvormig en worden sterk doorbloed. Het bloed is slechts door een uiterst dunne huidlaag van het omringende water gescheiden. Hoewel dit dunne huid-epitheel een efficiënte gaswisseling mogelijk maakt, is het onder normale omstandigheden moeilijk doordringbaar voor water en de meeste ionen. Dit is voor vissen ook een vereiste om in zoetwater te kunnen leven. Het grote verschil in osmotische waarde en ionensamenstelling van het bloed ($\pm 300 \text{ mOsm} \cdot \text{l}^{-1}$; $\pm 140 \text{ mM Na}^+ \cdot \text{l}^{-1}$) en het water (veelal minder dan $5 \text{ mOsm} \cdot \text{l}^{-1}$ en $3 \text{ mM Na}^+ \cdot \text{l}^{-1}$) leidt ertoe dat vissen continu blootstaan aan osmotische wateropname en verlies van ionen door diffusie over het huidoppervlak, met name in de kieuwen. Dat deze processen onder normale omstandigheden gering van omvang zijn is het gevolg van de beperkte doorlaatbaarheid van het huid-epitheel.

Het water dat desondanks de kieuwen binnendringt wordt via de nieren uitgescheiden. Het verlies aan ionen (met name Na^+ en Cl^-) wordt gecompenseerd door actieve opname. Deze vindt voor een klein deel plaats in de darm. De meeste ionen worden door de kieuwen opgenomen uit het water, via de *chloridecellen* (zie fig. 2).

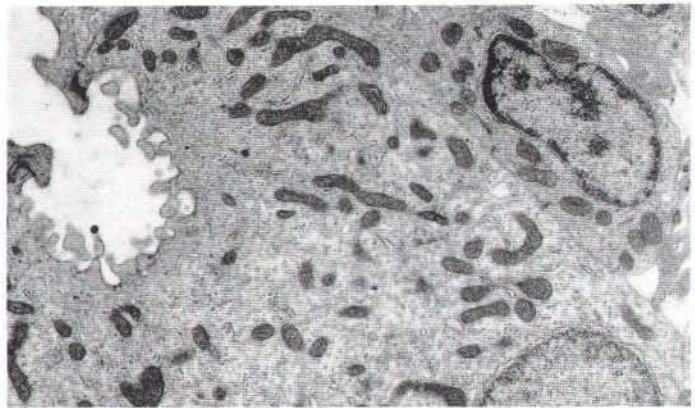
Dit zijn gespecialiseerde cellen in het huid-epitheel, gelegen op de grens van primaire en secundaire lamel en verspreid over de secundaire lamel. Chloridecellen bevatten transportmechanismen voor het vervoer van ionen uit het water naar het bloed en omgekeerd.

De drijvende kracht voor de actieve opname

Rechts: Fig. 2. Op deze dwarsdoorsnede door een secundaire kieuwlamel is de opbouw daarvan goed te zien. Door de sinussen in het midden van de lamel stroomt bloed dat CO_2 aanvoert en uitwisselt tegen zuurstof. Tussen de epitheelcellen liggen chloridecellen met het kenmerkende tubulaire systeem, dat een rol speelt bij de uitwisseling van ionen.



Rechts: Op deze elektronenmicroscopische opname van een chloridecel zijn de fijne buisjes van het tubulaire systeem te zien. De cel rechtsboven is een jonge chloridecel, die nog in ontwikkeling is.



van Na^+ -ionen vormt het enzym Na^+/K^+ -ATPase en waarschijnlijk ook het enzym Na^+/H^+ -ATPase. Dit zijn ionenpompen die Na^+ -ionen uit het cytoplasma van de chloridecellen kunnen pompen. De plaats van Na^+ wordt dan ingenomen door K^+ , H^+ of NH_4^+ . De pompen zijn gelegen in het tubulaire systeem, een netwerk van dunne buisjes omgeven door een membraan, gelegen aan de naar de de binnenkant van de kieuwlamel gelegen zijde (basale zijde) van de chloridecellen. Aan de andere (apicale) celmembraan, op de grens van het water en de chloridecel, vinden soortgelijke ionenuitwisselingen plaats door de aanwezigheid van carriermolekullen in deze membraan. In tegenstelling tot het transport aan de basale zijde van de cel is voor het transport aan de apicale zijde geen ATP vereist. Cl^- -ionen kunnen onder meer worden opgenomen en uitgewisseld tegen HCO_3^- -ionen.

Door verzuring van het water wordt het huidoppervlak zodanig aangetast dat de permeabiliteit voor water en ionen sterk toeneemt. De doorlaatbaarheid van de huid wordt onder meer bepaald door de mate waarin tweewaardige ionen, in het bijzonder calcium, zijn gebonden aan het oppervlak. Verzuring van het water heeft tot gevolg dat de binding van calciumionen vermindert, waardoor de huid lek raakt. Dit leidt tot verhoogde osmotische wateropname en een toename van het ionenverlies door diffusie. Om de toegenomen wateropname te compenseren is verhoogde uitscheiding van urine nodig, wat leidt tot extra ionenverlies.

Bij acute blootstelling aan verzuurd water komt dit tot uiting in een verlaging van de osmotische waarde van het bloed, die ernstiger is naarmate de pH van het water lager is. Deze daling is het gevolg van met name het verlies

van Na^+ - en Cl^- -ionen, die samen ongeveer 90 procent van het totale ionengehalte van het bloed vormen. Ook raakt het bloed verzuurd door het binnendringen van H^+ -ionen. De aantasting van de huid verhoogt de gevoeligheid ervan voor onder meer schimmelinfecties.

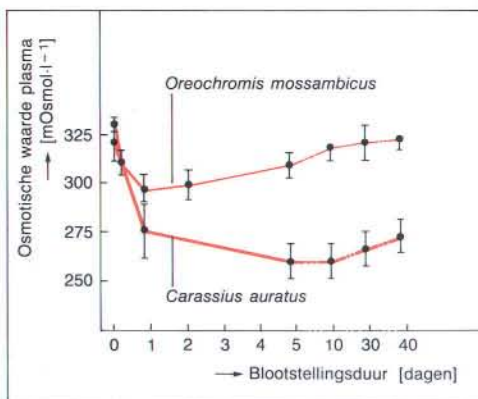
Te sterke daling van de osmotische waarde van het bloed leidt tot de dood van de vis. Bij sublethale (nog niet dodelijke) waterverzuuring blijft de osmotische waarde vaak wekenlang sterk verlaagd, zoals bij veel soorten forellen is gevonden en ook door ons bij de goudvis (fig. 3). Bij de uit Afrika afkomstige Natalbaars *Oreochromis mossambicus* treedt echter meestal een vrij snel herstel op, wat erop wijst dat deze soort zich vrij gemakkelijk aan verzuurd water kan aanpassen. Een dergelijke vorm van adaptatie komt waarschijnlijk bij veel meer soorten voor, ook al is het na veel langere tijd dan bij de Natalbaars.

Dat het verlies van lichaamszouten een zeer belangrijke oorzaak is van de sterfte na acute verzuring, blijkt uit experimenten waarbij Natalbaarsen enkele weken vóór de verzuring werden geadapteerd aan water met verhoogde gehalten aan Na^+ en Cl^- . Wanneer de concentraties van deze ionen in het water vrijwel gelijk zijn aan die in het bloed (de osmotische waarde is dan ook vrijwel gelijk aan die van het bloed), sterft vrijwel geen vis meer bij acute verzuring. Er treedt immers geen ionenverlies op en evenmin een daling in de osmotische waarde van het bloed. Ook in water met een verhoogd gehalte aan Ca^{2+} -ionen is de sterfte minder. Dit ondersteunt de hypothese dat het verlies van ionen uit het bloed (ook dit verlies is minder in water met een verhoogde Ca^{2+} -concentratie) met name veroorzaakt wordt door verminderde binding van Ca^{2+} -ionen aan het huidepitheel.

Zuurstoftransport en groei

Verzuring van het water heeft in het bijzonder gevolgen voor het zuurstoftransport via het bloed naar de weefsels en voor de groei.

In een zuur milieu daalt de pH van het bloed als gevolg van een verhoogde opname van H^+ -ionen. Hoewel deze daling beperkt blijft tot hoogstens enkele tienden van pH-eenheden heeft dit toch tot gevolg dat er onder meer calciumcarbonaat uit het bloed wordt vrijgemaakt. Ook is in verzuurd water de



Boven: Fig. 3. De osmotische waarde van het plasma van de goudvis *Carassius auratus* daalt bij blootstelling aan water met pH 4 binnen een dag aanzienlijk en er treedt nauwelijks herstel op. De Natalbaars *Oreochromis mossambicus* is minder gevoelig voor dit zure water.

Rechtsonder en onder: Een forelmannetje maakt zich op voor de paring. Dat is te zien aan de knik in de anders rechte onderkaak. In verzuurd water zal zijn paringsdaad minder succesvol zijn, omdat de groei en de productie van eieren dan achterblijft. Zuurlozing door de industrie is een van de oorzaken van acute verzuring, waaraan vissen worden blootgesteld.

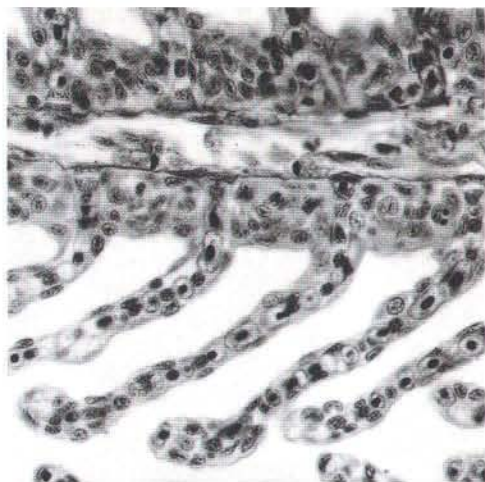


CO₂-spanning over het algemeen verhoogd. Het gevolg is dat de CO₂-spanning in het bloed toeneemt. Het zuurstoftransport via het bloed naar de weefsels wordt belemmerd door zowel de pH-verlaging als door de toename van het CO₂-gehalte van het bloed. Door de verlaagde pH van het bloed vermindert de affiniteit van het hemoglobine voor zuurstof; door de hoge CO₂-spanning in het bloed blijft het hemoglobine relatief onverzadigd met zuurstof. De totale transportcapaciteit voor zuurstof van het bloed vermindert hierdoor.

Acute verzuring leidt tot verhoging van de slijmproductie van de huid, wat onder meer in de kieuwen tot ophoping van slijm kan leiden. Dit verschijnsel treedt vooral op bij forellen. Men gaat ervan uit dat al deze processen de zuurstofvoorziening van de weefsels kunnen belemmeren, maar niet in een mate die op zichzelf dodelijk is. Behalve in zeer extreme gevallen van verzuring lijkt de buffercapaciteit van vissen voldoende om de gevolgen van de verhoogde H⁺-influx in verzuurd water op te vangen.

Het verlies van lichaamszouten dat ontstaat in verzuurd water moet worden gecompenseerd door de actieve opname van ionen, met name Na⁺ en Cl⁻, door de kieuwen. Dit opnameproces vergt extra energie. Waar een vis onder normale zoetwater omstandigheden minder dan 20 procent van zijn energie besteedt aan de regulatie van de water- en ionenhuishouding, kan het percentage meer dan verdubbelen in verzuurd water. Daardoor neemt de groeisnelheid af. Deze afname kan mede een gevolg zijn van het calciumverlies dat optreedt in verzuurd water. Figuur 5 laat zien dat het calciumgehalte in het skelet van Natalbaarzen daalt in de eerste weken van blootstelling aan verzuurd water. Daarna treedt echter herstel op. Bij forellen is nauwelijks calciumverlies uit het bot geconstateerd, maar ook bij deze vissen wordt de groeisnelheid geremd door waterverzuring, alhoewel geen effecten op de groei van bronforellen werden gevonden. Gegevens over de effecten van verzuring op de groei van vissen zijn overigens nog schaars.





Effecten op de voortplanting

Verzuring van het water remt de voortplanting op verschillende manieren: door vermindering van de eiproduktie, door verhoging van de sterfte van de eieren en door vertraagde ontwikkeling en verhoogde sterfte van de larven.

Men heeft vastgesteld dat de eiproduktie van de forel in verzuurd water afneemt en bracht dit in verband met de verstoring van het calciummetabolisme, omdat het calciumgehalte van het bloedplasma van vrouwtjes met rijpe eieren veel lager was dan normaal. Gewoonlijk verdubbelt het calciumgehalte tijdens de rijping van de ovaria, doordat via het bloed veel vitellogenines (calcium-bindende eiwitten) vanuit de lever, waar zij worden gevormd, naar de rijpende eieren in de ovaria worden vervoerd. In water van pH 5 bleek de hoeveelheid circulerende vitellogenines veel geringer dan normaal, waardoor de rijping van de eieren was vertraagd of zelfs geheel geremd.

Bij Natalbaarzen is ook sprake van vertraging van de eirijping. Bij deze soort legt het wijfje ongeveer elke twintig dagen. In verzuurd water neemt deze periode toe met de daling van de zuurtegraad. Bij pH 4 werden geen rijpe eieren meer waargenomen (zie tabel 1). Het onvermogen van veel vissen om de eieren af te zetten in sterk verzuurd water wordt ook in de natuur veelvuldig waargenomen.

Dat in verzuurd water niet alleen minder

TABEL 1. De invloed van de pH van het water op het aantal eileggende vrouwtjes en op het eileg-interval bij Natalbaarzen.

Zuurgraad water [pH]	Eileggende vrouwtjes [procent]	Eileg-interval [dagen]
7,4	72	19,3 ± 3,1
6	55	21,3 ± 5,2
5	15	32,4 ± 7,1
4	0	—

eieren worden afgezet maar dat ook de mortaliteit van de eieren toeneemt blijkt uit tabel 2. In de eerste uren na eiafzetting zijn de eieren het meest kwetsbaar. Het percentage eieren dat uitkomt neemt sterk af naarmate de verzuring van het water toeneemt. Tabel 2 illustreert dat die gevoeligheid van eieren per soort aanzienlijk verschilt.

Beneden pH 4 komen echter vrijwel geen eieren meer uit. De enige vissoort in Nederland die zich wel met succes beneden pH 4 kan voortplanten is de Amerikaanse hondsvij (Umbra pymaea), die in het begin van deze eeuw is ingevoerd uit Noord-Amerika.

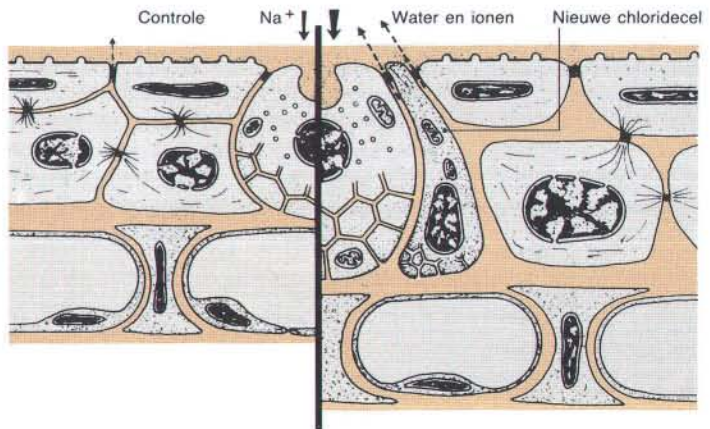
Met betrekking tot de bronforel valt op te merken dat de mortaliteit van de eieren die is

Links: Twee microscopische opnamen van de kieuw van een forel tonen het effect van verzuring, zoals dat al na enige dagen optreedt. De linkerfoto toont een gezonde kieuw; rechts zien we de aangetaste: de huid heeft over een groot oppervlak losgelaten en de bloedvaten in de kieuwfilamenten zijn sterk gezwollen.

Rechts: Een elektronenmicroscopische opname van een chloridecel na blootstelling aan verzuurd water. De buisjes van het tubulaire systeem zijn opgezwollen, wat wijst op een vervroegde veroudering, vermoedelijk veroorzaakt door de lage zuurgraad.



Rechts: Fig. 4. In dit schema worden de effecten van verzuurd water op de kieuwen samengevat. Het linkerdeel van de figuur toont de normale situatie. In het rechterdeel zien we een toename van het aantal chloridecellen, terwijl deze ook groter worden. Ook de opname van Na^+ (getrokken pijl) neemt toe, om het verlies van dit ion te compenseren. Het huidepitheel wordt dikker en de doorlaatbaarheid voor water en ionen (gestippelde pijlen) neemt aanvankelijk sterk toe, maar herstelt, zich later enigszins.



waargenomen door Menendez (tabel 2) veel groter is dan die welke Trojnar constateerde bij dezelfde soort. Trojnar stelde eieren van normale dieren bloot aan verzuurd water onmiddellijk na afzetting. Menendez bestudeerde echter eieren van vissen die gedurende enkele maanden bij lage pH waren gehouden. Dit verschil maakt duidelijk dat de ontwikkeling en rijping van de eieren in de ovaria door waterverzuring wordt belemmerd. Uit de experimenten van beide auteurs blijkt verder dat ook de overleving van de larven en jonge forellen in de eerste maanden na het uitkomen van de eieren evenredig is met de pH van het water. Beneden pH 5 bleek de sterfte in de eerste drie maanden vrijwel 100 procent te zijn.

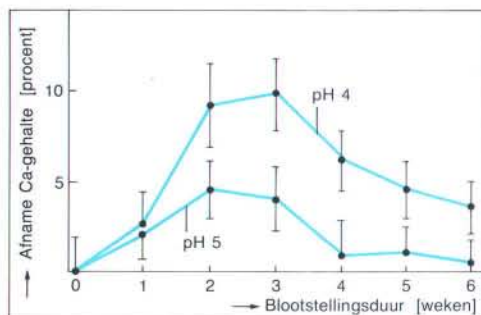
Conclusies

Hoewel er geen twijfel over bestaat dat de water- en ionenhuishouding van vissen ernstig wordt verstoord door acute blootstelling aan verzuurd water, is het niet duidelijk wat de gevolgen hiervan zijn op lange termijn. Soorten zoals de Natalbaars kunnen de gevolgen van verzuring snel herstellen. Reeds tien dagen na het begin van de verzuring bereiken de osmotische waarde (fig. 3) en de Na^+ - en Ca^{2+} -concentratie in het bloed weer normale waarden. Ook het calciumverlies uit het lichaam, dat tot uiting komt in een daling van het calciumgehalte van het skelet, blijkt binnen enkele weken weer te worden hersteld (fig. 5).

Dit herstel wordt waarschijnlijk hormonaal gereguleerd. Na waterverzuuring treedt een sterke verhoging op van de afgifte van cortisol door de interrenale cellen in de bijnier en de afgifte van prolactine door de hypofyse. Beide hormonen zijn betrokken bij de water- en ionenregulatie en bij het calciummetabolisme. Cortisol stimuleert de Na^+ -opname door de chloridecellen in de kieuwen en doet het aantal van deze cellen toenemen. Prolactine leidt tot verdikking van de huid en tot vermindering van de permeabiliteit van het kieuwepitheel voor water en ionen. Al deze verschijnselen worden waargenomen in de eerste weken nadat verzuring van het water is opgetreden. Dergelijke fysiologische adaptatieverschijnselen treden ongetwijfeld bij meer vissoorten op, maar waarschijnlijk in een veel lager tempo. Bij goudvissen (fig. 3) en forellen is er tijdens de eerste weken in verzuurd water slechts een zeer gering herstel.

Bij chronische verzuring is echter bij forellen weinig van verstoring van de water- en ionenhuishouding te merken, zolang de pH niet daalt beneden 5. De 'energiekosten' van de regulatie zijn echter veel hoger dan in neutraal water. Het is daarom de vraag of dergelijke adaptatieverschijnselen op de lange duur veel betekenis zullen hebben voor het voortbestaan van de soort. Dit geldt te meer omdat vissen bij langdurig verblijf in verzuurd water gevoeliger blijken te zijn voor allerlei infecties en minder goed in staat om de belasting die bijvoorbeeld optreedt tijdens de voortplantingsperiode te overleven. Ook de groei en de produktie van eieren lijkt op langere termijn achter te blijven.

Maar de grootste bedreiging voor de visstand vormt ongetwijfeld het feit dat de eieren van veel vissoorten in de eerste uren na afzetting zeer gevoelig zijn voor waterverzuuring. Slechts wanneer vissen in staat zijn zuurresistente eieren te ontwikkelen, zullen zij zich op de lange termijn in verzuurd water kunnen handhaven. Dat dit niet onmogelijk is blijkt uit het feit dat er stabiele forellenpopulaties zijn aangetroffen in rivieren in onder meer Engeland en Noord-Amerika die al tenminste tientallen jaren, en waarschijnlijk al veel langer, leven in verzuurd water. Forellen uit die rivieren blijken in laboratoriumexperimenten veel beter in staat te zijn om het ionenevenwicht in het bloed te handhaven bij lage pH.



Met name in Noorwegen zijn echter de grootte en het aantal forellenpopulaties in de afgelopen tachtig jaren sterk afgenomen. Ook het geringe aantal vissoorten dat in Nederland voorkomt in sterk verzuurd water wijst in het geheel niet op succesvolle adaptatievermogens van de inheemse soorten. Het is daardoor denkbaar dat de forellen in Engeland en Noord-Amerika zich genetisch aan de verzuring hebben aangepast, maar dat deze genetische adaptatie plaatsgebonden en zeker niet algemeen is.

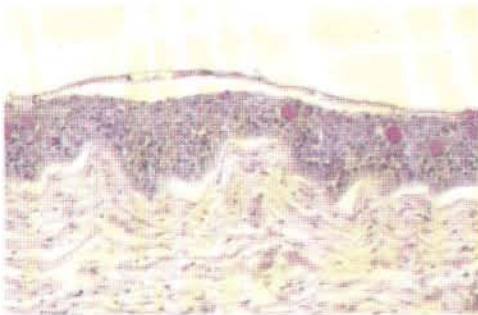
Het vermogen van de Amerikaanse hondsvvis om zich succesvol te handhaven in water van pH 3,5 is een opmerkelijke uitzondering en is waarschijnlijk tot stand gekomen in een lange



TABEL 2. Het relatieve overlevingspercentage van de afgezette eieren.

pH	Atlantische zalm	Bronforel	Tandkarper*
7,0	100	100	64
6,5	n.b.	82	17
6,0	97	74	7
5,5	70	59	0
5,0	60	54	—
4,5	63	26	—
4,0	3	—	—

*Leeft normaal bij pH 8.



Linksboven: Een impressie van een proefopstelling waarmee het verzuringsonderzoek wordt uitgevoerd.

Geheel links: Fig. 5. Onder invloed van een dalende pH van het water neemt het calciumgehalte van het skelet van Natalbaarsen af. Deze afname is het sterkst na twee à drie weken. Na enige weken treedt weer herstel op.

Links: Ook de opperhuid van Natalbaarsen wordt aangeast door verzuring. Deze microscopische opname toont het resultaat van drie weken rondzwemmen in water met pH 4. Het aantal slijmcellen (rode stippen) is sterk toegenomen en de opperhuid is verdikt. Dode huidcellen worden in versterkte mate afgestoten. Dit effect is vergelijkbaar met de vervelling bij de mens na beschadiging van de huid door zonnestralen.

evolutieperiode. De snelheid waarmee de verzuring momenteel toeneemt is te hoog om dergelijke adaptaties bij andere vissoorten te mogen verwachten. Daarbij komt dat de teruggang van de visstand wordt veroorzaakt door verzuring in combinatie met andere factoren. De teruggang van de forellenpopulaties in Noorwegen is met name het gevolg van verzuring gecombineerd met een toename van het aluminiumgehalte. Aluminium is bij uitstek toxisch bij pH 5. Verhoging van het aluminiumgehalte in verzuurd water is ook in Nederland waargenomen. Aanhoudende verzuring, door welke oorzaak dan ook, zal dan ook vrijwel zeker leiden tot verdere teruggang van de visstand.

Literatuur

- Schuurkens, J.A.A.R., Vangenechten, J.H.D. en Leuven, R.S.E.W., (1985). *Verzurende vennen*. Natuur en Techniek, 53, 11, pag. 840-855.
- Poortinga, G., (1984). *Zure regen, kwaadaardige bedreiging van ons welzijn*. Elsevier, Amsterdam/Brussel, ISBN 90-10-05383-0.
- Leuven, R.S.E.W., Arts, G.H.P., Schuurkens, J.A.A.R., (1986). *Waterzuivering in Nederland en België - Oorzaken, effecten en beleid*. Lab. voor Aquatische Oecologie, K.U. Nijmegen. ISBN 90-9001195-1.

Bronvermelding illustraties

- A. van den Nieuwenhuizen, Zevenaer: pag. 565.
- Michiel Wijnbergh, Amsterdam: pag. 564.
- Alle overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

Chemie van het leren

Bij een computer is het geheugen magnetisch opgeslagen, bij de mens is de plaats van het geheugen en de wijze van opslag niet zo duidelijk. Hoe onthouden wij wat we geleerd hebben? Is het geheugen gelegen in de ziel, of is het een fysisch waarneembaar verschijnsel?

Onlangs hebben enkele wetenschappers ontdekkingen gedaan die erop duiden dat een leerproces veranderingen in het zenuwstelsel teweeg brengt. De ontdekkingen werden zowel bij slakken als bij ratten gedaan. Slakken zijn lagere dieren met een eenvoudig zenuwstelsel. Omdat de biochemie van de slak echter nauwelijks afwijkt van die van de rat, een zoogdier, kan dit weekdier gemakkelijk model staan voor leerprocessen bij hogere dieren. Eric Kandel heeft met zijn collega's aan de Columbia University (New York) geëxperimenteerd met *Aplysia*, een zeeslak. De slak werd middels een stroomstoot door de staart gevoelig gemaakt voor zacht aanraken van de rugmantel. Tot een half uur na de stroomstoot reageerde de zeeslak veel heftiger dan normaal: hij trok de kieuw terug in de mantelzak. Als men geregeld stroomstoten aan de staart combineerde met het prikkelen van de mantel dan bleek de slak na verloop van tijd even heftig de kieuw terug te trekken wanneer de stroomstoot door de staart achterwege bleef. De slak was geconditioneerd. Hij had geleerd zijn kieuw terug te trekken bij lichte prikkeling.

Het leerproces ging gepaard met de vorming van nieuwe eiwitten in de betrokken zenuwcellen.

Kandel diende bepaalde chemische preparaten toe, die de vorming van eiwitten blokkeerden. Hierna zag hij wel de reflex net na de stroomstoot maar niet de geconditioneerde reactie.

De vraag of de chemie van het leren ook bij zoogdieren kan worden vastgesteld is onlangs gedeeltelijk beantwoord. Het geheugen van een zoogdier is veel complexer dan dat van een slak. Waar het zich in de hersenen bevindt, is niet zeker. Eén gebied, de hippocampus (zo genoemd omdat het de vorm van een zeepaardje heeft), blijkt echter direct betrokken bij leerprocessen.

De Schotse onderzoeker Richard Morris heeft pas geleden samen met zijn medewerkers de hippocampuswerking bij ratten onderzocht. De zenuwcellen die naar de hippocampus toe leiden, dragen informatie over door glutamaat af te scheiden. Dit gebeurt aan de synaps, het contactpunt tussen twee zenuwcellen. De ontvangende synaps bevat minstens drie receptoren, eiwitten die reageren op glutamaat. Een ervan, de zogenaamde NMDA-receptor, lijkt niet betrokken te zijn bij directe informatie-overdracht. Maar deze is wel essentieel in het leerproces. Wanneer de NMDA-receptor ongevoelig gemaakt wordt voor glutamaat, dan blijken ratten niet meer in staat nieuwe dingen te leren.

Morris en zijn collega's hebben ratten met 2-APV (2-amino, 5-phosphonovaleraat, een stof die de NMDA-receptor blokkeert in zijn werking) ingespoten direct in de buurt van de hippocampus. De ratten moesten in een vijver met troebel water zwemmen totdat ze een platform net onder de waterspiegel vonden waarop ze konden zitten. De ratten die

2-APV kregen toegediend, konden deze plaats niet terugvinden zonder veel zoeken, terwijl de normale ratten dit erg snel leerden. Wanneer er geen oriëntatiepunten rondom de vijver stonden, waren beide groepen ratten even vlug in het vinden van het platform.

De proeven van Kandel en Morris hebben aangetoond dat eiwitten betrokken zijn bij leerprocessen. De ratten van Morris onthielden niets als bepaalde eiwitten geblokkeerd werden. De slakken van Kandel werden niet geconditioneerd als er geen eiwitten gevormd konden worden. Beide onderzoekers hebben duidelijk laten zien dat er fysiologische veranderingen optreden tijdens het leerproces. Bij zoogdieren was dit nog nooit waargenomen. Het blijft echter de vraag of de chemie van het leren ooit volledig ontrafeld zal worden. Pogingen om het eigen denken te onderzoeken lijken op een wetenschapper, die probeert zichzelf op te tillen door hard aan zijn kraag te trekken. Dat is ook moeilijk.

José van der Meijden,
Paul Mijland
KU Nijmegen

Watermolens leveren elektriciteit

In Limburg zijn in de eerste helft van dit jaar drie watermolens leverancier van elektriciteit aan het openbare net geworden. Daarmee heeft Nederland de eerste kleinschalige waterkrachtcentrales. Nog meer eigenaren van watermolens in Limburg overwegen of

De dubbele molen bij Wijlre gaat stroom leveren aan het elektriciteitsnet. (Foto PLEM).

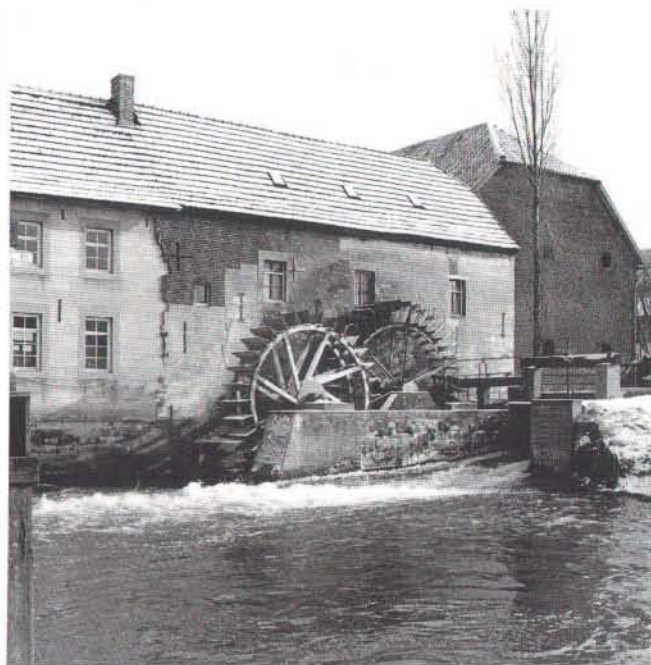
hebben al besloten om hun molen om te bouwen.

De eerste molen die stroom ging leveren aan het net was in februari van dit jaar de Groote Molen te Meerssen. De geïnstalleerde generator heeft een vermogen van 55 kW en zal jaarlijks ongeveer 290 000 kWh leveren. De eigenaar zal voor zijn eigen maalderij 125 000 kWh gebruiken en de rest van de stroom tegen een relatief gunstig tarief aan het openbare elektriciteitsnet leveren. De Provinciale Limburgse Elektriciteitsmaatschappij betaalt een goede prijs, 15 cent · (kWh)⁻¹ overdag en 12 cent · (kWh)⁻¹ 's nachts, omdat de molen de stroomlevering kan garanderen. Dat kan omdat de Geul, waaraan de molen ligt, een vrij constante watertoevoer heeft en de molen bovendien schutrecht heeft, wat betekent dat de molenaar bij lage waterstand het water mag stuwen om zo de waterkracht voor zijn molen te garanderen. Het is een historisch recht dat lang niet alle watermolens bezitten.

Inmiddels zijn ook de graanmolens in de Voer bij Eijsden, de molen in het Jekerdal bij Maastricht en de dubbele molen in de Geul in Wijlre al stroomleverancier of de voorbereidingen zijn vergevorderd.

De meeste van de hier genoemde watermolens wekken de elektriciteit trouwens niet op met het rad dat opzij van de molen is bevestigd, maar met een verticaal opgestelde moderne turbine die veel efficiënter werkt dan de oude raderen. Die inwendige voorziening is trouwens niet pas aangebracht nu de molens op elektriciteitsopwekking overschakelden, maar was al veel langer aanwezig.

(Bron: persbericht PLEM)



Rijmeters

Nu de parkeermeter wereldwijd is ingevoerd is de technologie ver genoeg gevorderd om rijmeters in te voeren. Parkeren kost plaats, maar rijden is belastend voor het milieu en de wegen slijten er van. Het is daarom handig te weten wie veel rijdt en wie weinig, zodat de wegenbelasting naar rato van het aantal verreden kilometers kan worden vastgesteld. Wie een auto in de garage heeft zou dus op die manier gevrijwaard blijven van hoge rekeningen voor het gebruik van niets.

In Hong Kong is een proef genomen met een systeem waarbij rijdende auto's worden geregistreerd. Het experiment was een groot succes, maar politiek gezien bleek de tijd nog niet rijp voor introductie.

De auto's die bij de proef betrokken waren kregen een elektronisch 'nummerbord' dat kon

worden gelezen door detectoren in het wegdek. Het plan was om tol te gaan heffen voor het rijden op wegen in drukke wijken. De automobilisten zouden aan het eind van de maand een rekening thuisgestuurd krijgen, net zoals de rekeningen waar iedereen al aan gewend is: die voor gas, licht en telefoon.

De elektronische registratie blijft nu alleen in gebruik bij de drie toltunnels in Hong Kong. Auto's met een elektronische nummerplaat hoeven niet meer in de rij te staan om contant te betalen.

Het systeem kan worden geleverd door een Engelse firma, die voerde de proef in Hong Kong ook uit. Het is in de Nederlandse situatie moeilijk in te schatten of het initiatief van een linkse of een rechtse partij zal moeten komen.

(Bron: New Scientist)

Virussen uit de ruimte

Periodieke injecties van virusdeeltjes uit de ruimte zijn een verklaring voor de periodieke epidemieën van griep. Telkens als onze planeet zich door de staart van een komeet beweegt, dringt er gruis van kometen de atmosfeer binnen. Deeltjes van de grootte van een bacterie doen er enkele weken over om de grond te bereiken, deeltjes van de grootte van een virus hebben er in principe jaren voor nodig. Atmosferische omstandigheden verhogen lokaal echter zeer sterk de concentratie en afdalingssnelheid van de virusdeeltjes. Wanneer eenmaal door deze verticale transmissie een menselijk reservoir voor het virus tot stand is gebracht, plant het zich voort van persoon tot persoon door horizontale transmissie. Voor kortlevende virussen als het griepvirus, is de verticale transmissie evenwel de belangrijkste weg.

Dit verhaal komt niet uit een science-fictionroman, maar is een ernstige hypothese, uitgewerkt door twee eminente astronomen, Sir Fred Hoyle en Chandra Wickramasinghe en huisarts John Watkins in het onlangs verschenen boek *Viruses from Space* (University College Cardiff Press, 1986, 118 blz., £ 5.95, ISBN 0 906449 93 6).

Sir Fred is een extravagant Brits astronoom die ervan houdt tegen de stroom in te zwemmen. Jaren geleden formuleerde hij met Bondi en Gold tegenover de *Big Bang*-theorie de *Steady State*-theorie, die evenwel geen stand kon houden. Met zijn collega Wickramasinghe is hij van mening dat organische resten van kometen aanleiding hebben gegeven tot het ontstaan van leven op Aarde, dat ze de motor vormen van de evolutie en verantwoordelijk zijn voor de ziekteplagen die de Aarde geteisterd hebben.

In *Viruses from Space* wordt nieuwe epidemiologische en kli-

matologische evidentie gebracht voor de theorie van de verticale transmissie van influenza. Het wijdverspreide geloof dat griep en andere acute bovenste-luchtweginfecties van persoon tot persoon worden overgebracht, is eigenlijk nooit bewezen. Integendeel, zo blijken deze ziekten bijvoorbeeld evenveel voor te komen in dichtbevolkte stedelijke gebieden als op het platteland. Of een voorbeeld uit het dagelijkse leven: waarom zijn kassières van supermarkten, die met zoveel mensen in contact komen, niet allemaal ziek tijdens een griep-epidemie?

Zeer merkwaardig is dat het voorkomen van influenza tijdens een epidemie in de diverse kosthuizen van Britse middelbare scholen, zeer sterke fluctuaties vertoont, die niet door het toeval verklaard kunnen worden als men de horizontale transmissie als voornaamste weg beschouwt. Hoyle, Wickramasinghe en Watkins stellen dat de grote locale variatie in neerslag van partikels verantwoordelijk is voor het grillige verspreidingspatroon.

De virussen bereiken de Aarde in regendruppels, die evenwel van de top van de neus afvallen. Door inademing van fijn verspreide waterdamp op het einde van een regenbui kunnen de viruspartikels wel in luchtwegen geraken. Dit komt overeen met de volkservaring dat mistig weer ongezonder is.

Massale influenza-epidemieën – pandemieën genoemd – kunnen dan verklaard worden door de aankomst van een nieuw type van virus vanuit de ruimte waarvoor de bevolking nog geen immuniteit heeft. Een bui van organisch materiaal in Centraal-Afrika tien jaar geleden zou de start gegeven hebben van de AIDS-epidemie. Recente gegevens van Giotto over de komeet van Halley wijzen ondertussen uit dat de oppervlakte organisch materiaal bevat en dat in de staart partikels aanwezig zijn van dezelfde grootte als de meeste virussen.

Hoyle zou het dit keer wel eens bij het rechte eind kunnen hebben. Maar hij zal harde bewijzen moeten leveren, want epidemiologische gegevens zijn nog geen bewijs voor een causale relatie.

Peter Mombaerts
KU Leuven

Etsets van halfgeleiders

In de huidige halfgeleiderstechnologie is perfectie van het materiaal een eerste vereiste. Wanneer in de kristalstructuur van halfgeleiders als silicium (Si) en galliumarsenide (GaAs) ook maar de geringste fouten sluipen, wordt het onmogelijk om er bruikbare integrated circuits en chips van te maken. Nu is dit bij Si niet zo'n groot probleem; het is relatief goedkoop en een niet werkende chip wordt eenvoudig weggegooid. Bij schaarser en duurder materiaal is het echter gewenst een snelle en goedkope methode te vinden waarmee nog vóór de fabricage van elektronische componenten (devices) het materiaal

Vier nog niet eerder gepubliceerde opnamen van geëtsde GaAs-oppervlakken tonen (in 1, 3 en 4) verschillende kristalfouten. Het oppervlak van opname 2 is gaaf. De getekende cirkel is een GaAs-wafer. (Foto: dr. J. Weyher).



op fouten gecontroleerd kan worden. Het ei van Columbus lijkt wat dit betreft inmiddels gevonden.

Omdat het hier gaat om fenomenen op atomaire schaal is meestal geavanceerde, maar daarom ook kostbare apparatuur nodig om materiaalfouten te bestuderen. Met röntgentopografie bijvoorbeeld kunnen de in een kristal aanwezige fouten in kaart gebracht worden. Ook met transmissie elektronen microscopie (TEM) worden kristalfouten zichtbaar. Een nadeel van TEM is echter dat een speciaal preparaat gemaakt moet worden waardoor het materiaal niet meer geschikt is voor devices.

Een vanwege de eenvoud, snelheid en geringe kosten zeer geschikte techniek voor de karakterisering van halfgeleidermaterialen is het chemisch vloeistof-etsen. Het materiaal wordt simpelweg in een bakje met een etsend middel geplaatst, na enkele minuten heeft men unieke informatie over de aanwezigheid van kristalfouten. Door het etsproces worden de plaatsen waar zich fouten bevinden zichtbaar. Het op deze manier tot stand geko-

men etspatroon kan onder de microscoop waargenomen worden. Omdat het etspatroon zich gemakkelijk laat verwijderen kunnen geschikte materialen verder verwerkt worden tot devices.

Op de afdeling Vaste Stof Fysica III van de KU te Nijmegen had men behoefte aan een simpele en snelle methode om GaAs te karakteriseren. Er wordt daar onderzoek gedaan aan het groeien van dunne lagen GaAs die voor de fabricage van zonnecellen van uitstekende kwaliteit moeten zijn. Informatie over de fouten in de gegroeide lagen was nodig om het groeiproces te kunnen verbeteren. Omdat de te onderzoeken lagen een dikte hebben van slechts enkele duizendste millimeters zocht men een etsmiddel dat bij een geringe etstdiepte een veelheid aan informatie kon opleveren. Hiervoor werd door dr. J. Weyher en dr. J. Van der Ven uit een bekend etsmiddel voor silicium (Sirtl-ets) het DSL etsmengsel (Diluted Sirtl mixtures with the use of Light) ontwikkeld. Het bestaat uit een oplossing van HF en CrO_3 in water. Bij bepaalde concentraties blijkt het etsproces gevoelig voor licht. Het DSL

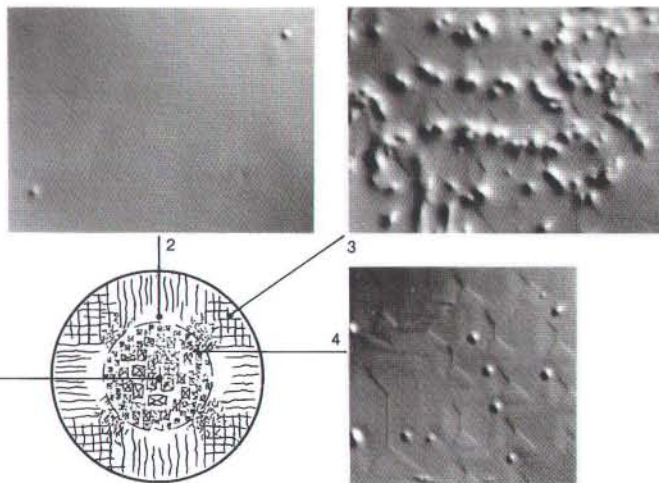
middel is daarom een fototetsmiddel. Onder invloed van licht wordt de foutgevoeligheid enorm vergroot en hoeven slechts enkele tienduizenden van een millimeter van het oppervlak te worden afgeëtst om een duidelijk waarneembaar etspatroon te verkrijgen.

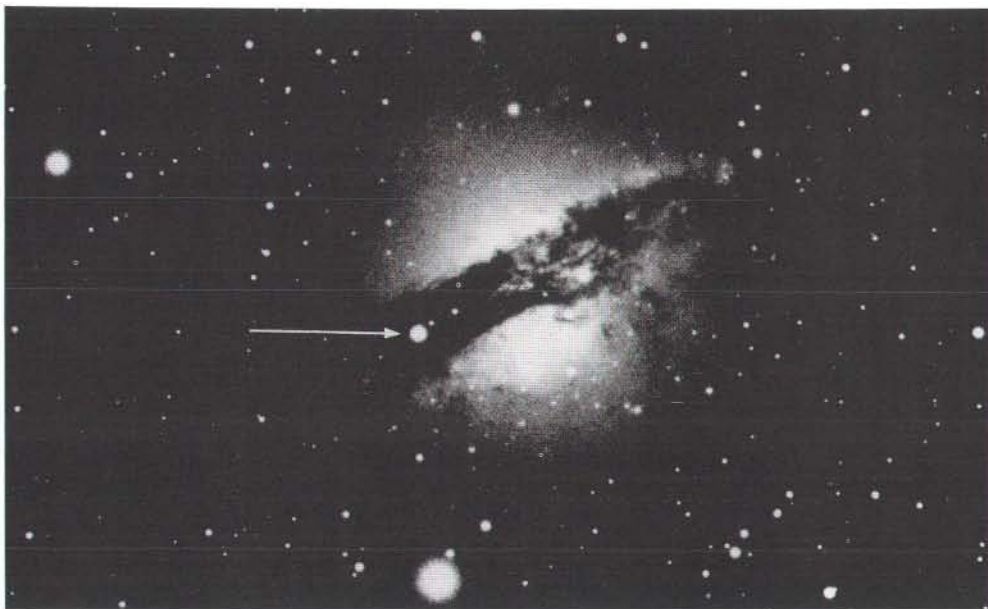
Behalve aan de bepaling van de concentratie waarbij optimaal etsgedrag plaatsvindt is veel aandacht besteed aan de interpretatie van de etspatronen. Interpretatie is van groot belang; aan de ene kant moet men er zeker van zijn dat waargenomen patronen inderdaad het gevolg zijn van materiaalfouten en niet van slordigheden in de etsprocedure, aan de andere kant is het gewenst de verschillende soorten fouten te kunnen onderscheiden.

Dr. Jan Weyher heeft zich intensief beziggehouden met de interpretatie van DSL-etspatronen. Recentelijk heeft hij een wetenschappelijke publikatie voltooid waarin verschillende kristalfouten en hun bijbehorende DSL patroon beschreven worden. Duidelijk blijkt dat dislocaties, stapelfouten en andere defecten zichtbaar gemaakt kunnen worden. Het is zelfs mogelijk verschillende soorten dislocaties te onderscheiden die in verschillende stadia van de groei ontstaan zijn. Op deze manier kan veel informatie over het groeiproces verkregen worden.

DSL lijkt een snelle, simpele en goedkope techniek voor routinecontrole van halfgeleidermateriaal. Daarmee is te voorkomen dat een hele serie elektronische componenten onbruikbaar is, zoals onlangs bleek uit DSL onderzoek aan devices. Wanneer men van te voren het materiaal geëtst had, was aan de waargenomen hoge dislocatiedichtheid te voorspellen geweest dat fabricage van goede componenten hiermee onmogelijk was geweest.

Harm Ikink, Theun Lourens
K.U. Nijmegen





Supernova staat dichterbij

Het opvallende sterrenstelsel Centaurus A (NGC 5128) staat waarschijnlijk veel dichterbij de Aarde dan astronomen vroeger dachten. Het is zelfs het sterrenstelsel dat het dichtst bij de Aarde staat en een sterke bron van radiostraling is. De juiste afstand van Cent A is tot nu toe nooit goed opgehelderd omdat het stelsel een vreemde structuur heeft. Sommige astronomen beschouwen het als het resultaat van een botsing tussen twee melkwegstelsels.

Astronomen van het European Southern Observatory hebben de conclusie over de afstand tot Aarde getrokken aan de hand van gedetailleerde waarnemingen aan een heldere supernova in Centaurus A. De afstand tot de Aarde wordt nu geschat op zeven tot tien miljoen lichtjaren, slechts drie tot vier maal zo ver als de Andromedanevel.

De supernova in Cent A is dit voorjaar ontdekt door een

Australische amateur-astronoom die al veel vaker 'nieuwe' sterren ontdekte. Supernovae zijn waarschijnlijk massieve sterren die in hun laatste fase een tekort aan brandstof krijgen om hun kernreacties nog langer te onderhouden, waarop ze in elkaar klappen. Onmiddellijk daarop volgt een enorme thermonucleaire explosie. Daarbij worden de buitenste lagen de omliggende ruimte ingeslingerd. Een klein en erg compact object kan in het centrum van de explosie overblijven. De waarnemingen aan de supernova hebben geleerd dat hij middenin Cent A ligt. Het licht van de supernova wordt daardoor gedimd door de materie van Cent A. Had de supernova aan de buitenkant van het sterrenstelsel gelegen dan was het ongetwijfeld de helderste supernova van deze eeuw geweest.

(Persbericht
European Southern Observatory)

Het stelsel Centaurus A waarin de heldere supernova met een pijl is aangegeven. (Foto: ESO).

Thalidomide toch mirakelgeneesmiddel?

Thalidomide, het beruchte slaapmiddel dat in de jaren zestig het drama van de 'sofenon'-kinderen veroorzaakte, zou wel eens uit de koelkast kunnen worden gehaald, maar nu voor een heel andere indicatie: beenmergtransplantatie. De stof werd aanvankelijk aangezien voor het mirakelslaapmiddel, want overdose of zelfmoord was onmogelijk. Bovendien bleek thalidomide volledig veilig te zijn in testen met zwangere ratten.

Duizenden vrouwen in Europa, Canada en Centraal-Amerika, die het slaapmiddel tijdens de zwangerschap hadden ingenomen kregen echter kinderen met vinachtige ledematen (*focomelie*).

Jaren geleden werd bij toeval een nieuw effect van thalidomide ont-

dekt. De been- en spierpijnen en huidletsels van een leprapatiënt, die het middel om zijn sederende werking toegediend kreeg, verbeterden spectaculair. Men neemt aan dat deze symptomen van lepra op een auto-immuunfenomeen berusten. Het immuunstelsel kan in dit geval het onderscheid niet meer maken tussen het 'ik' en het 'niet-ik' en keert zich tegen lichaamseigen structuren omdat die voor vreemde indringers worden aangezien. Nadien bleek thalidomide ook invloed te hebben op andere aandoeningen met auto-immuunmerken. Deze gegevens brachten dr. Georgia Vogelsang van de Bone Marrow Transplantation Unit van Johns Hopkins Hospital (Baltimore, USA) tot het idee om thalidomide uit te testen tegen *graft versus host disease* (GVHD), letterlijk: transplant-gegen-gastheerziekte. GVHD doet zich voor bij 60 procent van de heterologe beenmergtransplantaties (BMT), die uitgevoerd worden bij bepaalde vormen van leukemie of een massale blootstelling aan radioactiviteit (zoals de slachtoffers van Tsjernobyl), en is dan in de helft van de gevallen fataal. De donor-T-helpercellen, een subklasse van witte bloedcellen, richten zich bij GVHD tegen de verzwakte gastheer, die als 'indringer' wordt aangezien: een omgekeerde afstotingsreactie. De klassieke therapie bij BMT ter preventie van GVHD bestaat, naast een zorgvuldige donorselectie op basis van een zo groot mogelijke compatibiliteit van weefselantigenen, uit *cyclosporine* en steroïden. Cyclosporine, een door een bodemschimmel geproduceerde stof die de T-helpercellen onderdrukt, heeft evenwel heel wat nadelen. Het moet levenslang toegediend worden en is giftig voor de nieren. Het immuunstelsel kan zo sterk onderdrukt worden door cyclosporine dat de patiënt in hoge mate gevoelig wordt voor infecties, die dikwijls veroorzaakt worden door voor een normaal

individu onschuldige micro-organismen en daarom opportunistische infecties genoemd worden. Dr. Vogelsang ontdekte dat thalidomide GVHD bij BMT in ratten kon voorkomen en zelfs kon genezen. Bovendien bleef het effect voortduren na stoppen van het toedienen van de stof. Men stelde geen belangrijke neveneffecten vast. Geen enkel proefdier ontwikkelde opportunistische infecties.

Johns Hopkins Hospital heeft nu toelating gekregen voor klinische proeven met thalidomide van de Amerikaanse Food and Drug Administration (FDA), die thalidomide destijds nooit heeft goedgekeurd voor verkoop in de Verenigde Staten. In het najaar van '86 zal hiermee gestart worden, eerst bij hopeloze patiënten met chronische GVHD, die niet reageert op cyclosporine.

Dr. Vogelsang vermoedt dat de immuunsuppressieve werking van thalidomide berust op de activatie van T-suppressorcellen, die het immuunantwoord tegengaan. Hernieuwde transplantatie van een mengeling van donorbeenmerg en het geïmplanteerde beenmerg van de met thalidomide behandelde rat, leidde immers niet tot GVHD: de populatie suppressorcellen werd mee overgedragen. Recent ontdekte het team van Johns Hopkins Hospital dat thalidomide in de T-cellen bindt aan hetzelfde molecuul als waar cyclosporine aan bindt, namelijk *cyclophilline*. Waarom echter de onderdrukking van het immuunsysteem door thalidomide niet tot opportunistische infecties leidt en definitief is, in tegenstelling tot wat het geval is met cyclosporine, blijft een groot vraagteken.

In een verdere toekomst is men ook van plan thalidomide uit te testen tegen afstotingsreacties bij orgaantransplantaties.

Peter Mombaerts
Johns Hopkins Hospital
Baltimore, USA

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.
Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.
Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertentie-exploitatie:

D. Weijer. Tel. 05987-23065.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 30,- of 450 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 97,50 of 1875 F.

Prijs voor studenten: f 75,- of 1450 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 8,45 of 160 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.



De handbrandblusscher en zijn voordelen

De z.g. snelblusscher is een artikel geworden, dat meer en meer veld wint. Niet alleen bij groote fabrieken, garages en brandweren, maar ook bij particulieren. Dit vindt niet alleen zijn oorzaak in het feit, dat deze handige toestellen hoe langer hoe meer geperfectioneerd zijn, maar ook, doordat het toenemend gebruik van brandbare vloeistoffen een verhooging van het brandgevaar met zich brengt.

Bij oppervlakkige beschouwing zou men veronderstellen, dat het brandgevaar met vroeger vergeleken, sterk verminderd is. Maar dit is toch niet het geval. Juist de hedendaagsche techniek brengt op haar eigen wijze brandgevaar met zich. Gebruik van olie voor ketels van centrale verwarmingsinstallaties, nalatigheid bij het gebruik van elektrische strijkijzers, kachel-tjes, enz. (hoe dikwijls blijven deze toestellen niet onder stroom staan, doordat vergeten wordt, het snoer uit het stopcontact te trekken) hebben reeds talloze malen branden doen ontstaan. Ter besparing van gas of electriciteit worden veel petroleumkachels gebruikt. Er zijn menschen, die er een eigenaardig genoegen in scheppen een petroleumkachel b.v. in de keuken aan te steken en deze brandend naar het te verwarmen vertrek te dragen. Dat deze roekeloosheid groot brandgevaar met zich brengt, schijnt nog door weinig menschen te worden ingezien.

Statistieken bewijzen, dat 95% van alle branden klein beginnen. Dit feit bracht dan ook eenige vooruitstrevende firma's op de gedachte „zelfbestrijding bij brand” en met groote energie en veel vernuft legden zij zich op de vervaardiging van handbrandblusschers toe, die ten doel hadden, een begin van brand onmiddellijk in de kiem te onderdrukken. Dat deze toestellen in het begin primitiever waren dan thans, nu men na een ruime ervaring alle mogelijke ver-

beteringen heeft kunnen aanbrengen, spreekt vanzelf. Nu miljoenen handbrandblusschers over de geheele wereld in gebruik zijn, kan worden vastgesteld, dat een onnoemelijk aantal branden door deze doelmatige toestellen in de kiem kon worden gesmoord, waardoor niet alleen groote schade aan roerende en onroerende goederen werd voorkomen, maar waardoor ook talrijke menschenlevens werden gered.

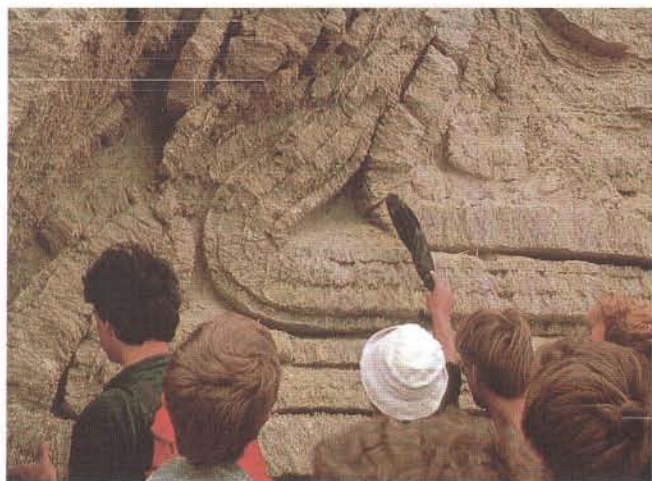
Oorspronkelijk was men de meening toege-daan, dat met één soort brandblusch-apparaat alle soorten branden kon worden geblusht. Dit is echter niet juist. Voor het bestrijden van brandende vloeistoffen, zooals petroleum, benzine, enz. komt een geheel andere snelblusscher in aanmerking, dan b.v. voor het blussen van hout, papier, weefsel, enz., terwijl brandende objecten, die onder electrischen stroom staan, weer met een ander soort snelblusscher moeten worden bestreden, die van een vulling is voorzien, die den electrischen stroom niet geleidt; anders zou de persoon, die het toestel bedient door stroomoverslag gevaar lopen.

Wanneer men tot aanschaffing van één of meerdere snelblusschers wil overgaan, is het daarom het beste, zich tot een betrouwbare firma op dit gebied te wenden, waarvan bekend is, dat zij over een ruime ervaring beschikt en zodoende in staat is, deskundig te adviseeren. Het is altijd het belang van den koper, zich, wat brandblusch-apparaten betreft, van het beste te voorzien, wat er op dit gebied in den handel verkrijgbaar is. Immers, een brand breekt totaal onverwachts uit! Het kan voorkomen, dat een toestel een week na aanschaffing zal moeten worden gebruikt. Het kan echter ook zijn, dat het 10 of 20 jaren later dienst zal moeten doen. Kwaliteit van het materiaal, duurzaamheid der vulling en vooral service van den leverancier zijn dus factoren, waarmede bij aanschaffing wel degelijk rekening gehouden moet worden.



Speurtocht naar het verleden

Met geologen op reis



Bij bezoeken aan het buitenland valt het op dat weinig landen zo vlak zijn als Nederland. Hoogteverschillen van honderden en zelfs duizenden meters zijn in het buitenland geen zeldzaamheid. Bekendste voorbeeld in Europa zijn de Alpen. Daar treffen we op grote hoogten, miljoenen jaren oude versteende zeebodems aan. De vorming, verandering en uiteindelijk verplaatsing van gesteenten worden door geologen bestudeerd. De vorming van gebergten en het reconstrueren van de beweging der continenten spelen een belangrijke rol in de geologie.

Zo blijkt dat grote delen van het huidige Europa vroeger door uitgestrekte watermassa's bedekt werden. Oeroude resten van plantaardig en dierlijk leven zijn bewaard gebleven en worden fossielen genoemd. Fossielen zijn een belangrijk hulpmiddel voor de geoloog bij zijn speurwerk naar vervlogen tijden.

Stichting Ammonietenhoeve organiseert dit jaar twee unieke geologische reizen. Tijdens deze reizen maakt u kennis met diverse aspecten van de geologie en wordt u in staat gesteld om miljoenen jaren oude fossielen te verzamelen. Wie weet vindt u wel een dinosaurusei. Zo houdt iede-

re deelnemer naast een stuk kennis en beleving ook vele, zelf gevonden souvenirs over aan zo'n reis.

Om de reizen zo optimaal mogelijk te laten verlopen is gekozen voor maximaal 25 deelnemers, onder leiding van twee beroepsgeologen. Deze (een stratigraaf/paleontoloog en een structureel geoloog) begeleiden u naar vele ontsluitingen. Uw vondsten worden ter plekke besproken en gedetermineerd. Tijdens de reizen komen vooral de paleontologie, sedimentologie, stratigrafie en structurele geologie van iedere streek aan de orde.



Linksboven: Gebergtevorming gaat met enorme krachten gepaard. Dit sterk geplooid gesteente is ontstaan door tegengestelde bewegingen in de aardkorst.

Boven: Deze ammoniet, een fossiel van een uitgestorven groep inktvissen, is gevonden in een kalksteenlaag op 1500 meter hoogte.

6 – 14 September
Haute-Provence, Zuid-Frankrijk

De Haute-Provence behoort geologisch gezien tot een van de interessantste streken van Frankrijk. Landschappelijk is het een zeer fraaie streek met een ongelofelijke variatie in de flora en fauna. Tijdens de excursie zal de geologische ontwikkeling van deze streek, vanaf Jura (± 195 miljoen jaren geleden) tot op heden behandeld worden. Ook genieten we dan volop van de veelzijdige natuur.

Het programma is chronologisch

opgebouwd en achtereenvolgens komen de volgende tijdperken aan de orde.

JURA

In de omgeving van Digne zullen we fossielrijke kalken en mergels bestuderen. Ammonieten, belemnieten (beide fossiele inktvissen), zeelelies en sponzen treffen we hier aan.

KRIJT

– Hauterivien-Barremien. We bezoeken kalken, kleien en mergels in de buurt van Castellane, Barre-

me en Forcalquier. Heteromorfe ammonieten, echinodermen en brachiopoden komen hierin veelvuldig voor.

– Aptien. Bezoek aan het typegebied. Mergels met gepyritiseerde fossielen.

– Maastrichtien. In de omgeving van Aix-en-Provence bezoeken we een van de laatste broedplaatsen der dinosauriërs. Misschien lukt het om net als in 1984 een compleet nest te vinden.

TERTIAIR

– Oligoceen. Ontsluitingen van platige zoetwaterkalken met fraai gepreserveerde vissen, insecten en planten worden bezocht.



Boven: Fossielen zijn in sommige streken van Dorset zo talrijk, dat ze zelfs als bouw materiaal dienen. In dit muurtje zien we onderin brokken versteend hout en bovenin de steenkernen van ammonieten.

Geheel links: Dit nest bevatte zes dinosauruseieren, die na zo'n 70 miljoen jaar volledig versteend waren. De gemiddelde doorsnede van een ei bedraagt ca. 25 cm.

Links: Vaak ligt het strand van Dorset bezaaid met uit de kliffen schoon- gespoelde fossielen.

– Mioceen. Nabij Forcalquier gaan we haaietanden, oesters en zeeëgels zoeken.

*Ter afwisseling worden ook een museum, olijfperserij, lavendelvelden en een streekmarkt bezocht. We kunnen er de nodige regionale specialiteiten aanschaffen, zoals de beroemde lavendelparfum.

1 – 5 Oktober Dorset, Zuid-Engeland

Langs de kust van Zuid-Engeland bevinden zich enkele wereldberoemde geologische ontsluitingen. Zo vond Mary Anning (1779-1847) er de eerste complete skeletten van *Ichthyosaurus* en *Plesiosaurus*. Tot op heden worden er nog steeds dergelijke vondsten gedaan. De prachtige calciet-ammonieten uit deze streek hebben aftrek gevonden in alle grote geologische mu-

sea ter wereld. Het schiereiland Portland, bekend om zijn natuursteen- en cementindustrie, is in de geologie befaamd om zijn metersgrote ammonieten. De kust van Dorset wordt in de geologische literatuur een paradijs voor geologen en paleontologen genoemd.

De geologische geschiedenis vanaf de Trias (± 230 miljoen jaar geleden) zal behandeld worden. Op het programma staan:

– Bezoek aan Lyme Regis met zijn Natuurhistorisch Museum. Strandwandelingen naar fossielrijke ontsluitingen (Trias en Jura). Hier worden nog regelmatig prachtige vondsten gedaan.

– Excursies naar Portland en Weymouth alwaar we verschillende ontsluitingen bestuderen.

– Strandwandelingen nabij Charmouth. Hier vinden we o.a. de wereldberoemde gepyritiseerde en gecalcitiseerde ammonieten, belemnieten en kreeften.

Kosten en inschrijving

Gezien het niet-commerciële karakter van de Stichting Ammonietenhoeve zijn de prijzen zo laag mogelijk gehouden en onder voorbehoud. Haute-Provence: f 1065,- en Dorset: f 735,-. De prijzen zijn inclusief busvervoer per luxe touringcar tijdens de gehele reis, overtochten (Kanaal), hotelaccommodatie op basis van twee-persoons kamers en halfpension, begeleiding van twee geologen, uitvoerige documentatie-gids. Inschrijvingen geschieden in volgorde van binnenkomst der inschrijfgelden. Voor informatie of boeking kunt u schrijven naar Stichting Ammonietenhoeve, St. Lambertusweg 4, 5291 NB Gemonde (Boxtel), ☎ 04192-12661.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Zeldzame huisdieren

In de huidige veeteelt worden hoge eisen gesteld aan de produktiviteit van landbouw-huisdieren. In de scherpe selectie zijn veel oude huisdierrassen verdwenen. Drs. H.P.M. Hillegers maakt duidelijk dat dit een groot verlies betekent en laat zien wat er gedaan wordt om zeldzame rassen in stand te houden.



Zwavel

Het element zwavel wordt voor een groot aantal toepassingen gebruikt. Zwavelverbindingen hebben echter duidelijk invloed op het milieu. Dr. A.G. Ryaboshapko beschrijft de lotgevallen van de door de mens vrijgemaakte zwavel en geeft een indruk van de problemen rond zwavel.



Biologie in de ruimte

In de komende jaren zullen, als alles volgens plan verloopt, heuse ruimtestations in een baan rond de Aarde komen. Aan boord zal het al bestaande biologisch onderzoek in de ruimte verder uitgebouwd worden. Prof. dr. S.L. Bonting geeft de stand van het onderzoek en vragen voor de toekomst.



De surfplank

Steeds meer mensen zijn er al eens afgevalen. Wat minder mensen weten zich erop staande te houden. De surfplank is in korte tijd populair geworden. De 'plank met een zeiltje' heeft bijzondere eigenschappen, die een klassiek zeilschip mist. Ir. H.B. Smits doet er het fijne van uit de doeken.



Zenuwgroei

Geen deel van het lichaam zit zo ingewikkeld in elkaar als het zenuwstelsel. Miljoenen zenuwcellen vormen met soms duizenden onderlinge verbindin-

gen een sluitend systeem. Deze cellen kunnen niet zonder de voedende cellen eromheen. Dr. W. Seifert gaat verder in op de rol van deze cellen.

De belangstelling voor uitputtende sporten als de marathon, wielrennen en, als voorlopig hoogtepunt, de triathlon groeit explosief. Dr. H. Kuipers beschrijft wat deze extreme inspanningen van het lichaam vragen en wat het effect van training is. Hij toont aan dat rust minstens zo belangrijk is als de trainingsloop zelf.

Extreme inspanningen



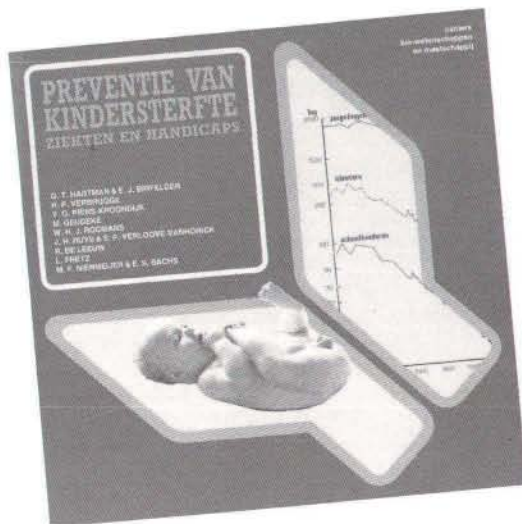
PREVENTIE VAN KINDERSTERFTE

Ziekten en handicaps

De afgelopen eeuw is de kindersterfte in ons land spectaculair gedaald. Oorzaken: het toegenomen besef van hygiëne en nieuwe inzichten in de verzorging van kinderen. Ook de opkomst van de bio-medische wetenschap en de (jeugd)gezondheidszorg was van groot belang. Nu sterven de meeste kinderen door ongelukken in en om het huis; bij zuigelingen spelen aangeboren afwijkingen een rol.

Bij de zorg voor pasgeborenen is veel veranderd. Steeds meer onvoldragen kinderen kunnen in leven gehouden worden, maar zij zijn erg kwetsbaar. Preventieve maatregelen ten behoeve van de kwaliteit van dat leven zijn nodig. Dat roept nieuwe vragen op over de kwaliteit van leven en de grenzen van de zorg rond de geboorte.

Daarnaast is het tegenwoordig mogelijk om aangeboren afwijkingen al voor de geboorte op te sporen. Ouders van een kind waarbij al voor de geboorte ernstige afwijkingen zijn vastgesteld, staan voor het dilemma of de zwangerschap wel uitgedragen moet worden. De mogelijkheid al vroeg in levensprocessen in te grijpen schept de verplichting ook de gevolgen van deze handelingen ter discussie te stellen.



Inhoud en auteurs

Voorwoord

Kindersterfte in de 19e eeuw

G.T. Hartman & E.J. Birkfelder

Jeugdgezondheidszorg

H.P. Verbrugge

Een middag op het consulatiebureau

Y.O. Prins-Kroondijk

Het voorkómen van ongevallen

W.H.J. Rogmans

Wiegedood

M. Geudeke

Rond de geboorte

J.H. Ruys & S.P. Verloove-Vanhorick

Medisch-ethische problemen

rond de geboorte

R. de Leeuw

Mag pasgeboren zwaar defect leven worden beëindigd?

L. Fretz

Voor de geboorte/voor de conceptie

M.F. Niermeijer & E.S. Sachs

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 4 van de 10e jaargang.

Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht. – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.